

ISSN No. 2088-4818

# Penelitian Masalah Lingkungan di Indonesia

2012

Buku 2

**Editor**  
Priana Sudjono  
Darmanto  
Sunjoto



Ikatan Ahli Teknik Penyehatan dan Lingkungan Indonesia

ISSN 2088-4818

**Penelitian Masalah Lingkungan di Indonesia  
2012**

**Penelitian Masalah Lingkungan di Indonesia 2012  
Buku 2**



Prosiding “Penelitian Masalah Lingkungan di Indonesia 2012” berisi makalah Seminar Ilmiah Nasional VIII dengan tema Penelitian Masalah Lingkungan di Indonesia. Seminar ini diselenggarakan di Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada pada tanggal 12 Juli 2012. Makalah telah diperiksa oleh ahli pada bidangnya.



**Editor:** Priana Sudjono, Darmanto, dan Sunjoto

Email: [redaktur@lingkungan-tropis.org](mailto:redaktur@lingkungan-tropis.org)  
Milis: [lingkungan-tropis@yahoo.com](mailto:lingkungan-tropis@yahoo.com)  
Website: <http://www.lingkungan-tropis.org>

**ISSN No 2088-4818**

Percetakan: Mizan Grafika Sarana  
Setting: sainorz

**Panitia  
Seminar Nasional VIII  
Penelitian Masalah Lingkungan di Indonesia**

**Pelindung**

Ketua Umum IATPI  
Dekan Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada  
Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada

**Penanggung Jawab**

Priana Sudjono (IATPI)

**Komite Pelaksana**

Darmanto (Ketua)  
Intan Supraba (Sekretaris)  
Sri Puji Saraswati (Wakil Ketua)  
Budi Kamulyan  
Baiq Zurkurniyanti  
Mamiék Purwati  
IATPI Yogyakarta  
Waterplant Community UGM  
Hidayah Pujiwati  
Dessi Echi

**Komite Ilmiah**

Sunjoto (Ketua-UGM)  
Hari Kusnanto (UGM)  
Sudarmadji (UGM)  
Sudharto P. Hadi (Undip)  
Ircham (UGM)  
Sudiana Mahendra (Unud)  
I Wayan Arthana (Unud)  
Aboejoewono Aboeprajitno (IATPI)  
Wahyono Hadi (ITS)  
Harun Sukarmadjaya (ITB)  
Soelistyoweni (UI)  
Setyo S. Moersidik (UI)  
Otto SR. Ongkosongo (P2O-LIPI)  
Alvi Syahrin (PSL-USU)  
Delianis Pringgenies (Undip)  
Ratnaningsih Ruhiyat (Trisakti)  
Syafrudin (Undip)



## **Indeks Nama Pemakalah**

Abdul Kahar	Hartuti Purnawerni	Nurul Dhewani Mirah Sjafrie
Agung Imantyoko	Henna Rya S.	R. Pamekas
Anita Ulifah	Iis Sofiati	R. Lupiyanto
Arif Anshori	Ina Juaeni	Rachmad Jayadi
Armi Susandi	Indah Susanti	Rahmat Sunarya
Asep Nugraha Ardiwinata	Indratin	Retno Dwirestiani
Aventi	Juniarti Visa	Rosyid Kholilur Rohman
Bakhtiar Nofti C.	Lely Qodrita Avia	Setiyo Daru Cahyono
Bambang Iswanto	Lianah	Sinta Berliana Sipayung
Bambang Siswanto	Lilik Slamet S.	Soni Aulia Rahayu
Blego Sedionoto	Lily Handayani	Sri Wahyuni
Boedi Hendarto	M Tohir	Sumaryati
Damar Aryo Sutrisno	M. Lindu	Trismidianto
Darmanijati	Mamad Tamamadin	Tuti Anuriyah
Darmanto	Martono	Tuti Budiwati
Dessy Gusnita	Munifatul Izzati	Ulfa Fitriati
Diana Hendrawan	Nani Cholianawati	Widodo B
Diba Rahmalila Aktaria	Ninong Komala	Yulis Hindarwati
Eddy Hermawan	Novy Pralisa Putri	Zaenuri
Erma Yulihastin	Nurhasanah Sutjahjo	



## **Kata Pengantar**

Seminar ilmiah hasil-hasil penelitian masalah lingkungan pada tahun 2012 merupakan suatu seminar ilmiah tahunan dalam bidang lingkungan. Seminar ini diselenggarakan atas kerjasama antara IATPI dengan Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan – Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada dengan tema “Penelitian Masalah Lingkungan di Indonesia.” Seminar diadakan di Kampus Universitas Gadjah Mada pada tanggal 12 Juli 2012.

Seminar ini merupakan salah satu cara penyebar-luasan hasil-hasil penelitian ilmiah yang bertujuan pada pemecahan masalah pencemaran, rekayasa pengolahan air minum dan air buangan, kesehatan lingkungan, konservasi sumber daya alam, dan pengelolaan lingkungan. Penelitian ini pada dekade terakhir menjadi menarik karena masalah lingkungan semakin beragam baik di perkotaan maupun di perdesaan. Dalam menghadapi permasalahan lingkungan, berbagai perguruan tinggi mengembangkan pendidikan dan penelitian pada topik yang sangat beragam pula. Selain itu pula berbagai pusat penelitian atau lembaga pemerintah maupun swasta tidak ketinggalan dalam berkiprah pada berbagai penelitian dan usaha pemecahan masalah lingkungan. Oleh karena itu, pertemuan ilmiah setiap tahun untuk penampilan berbagai hasil penelitian sangat penting.

Tujuan seminar adalah tukar pikiran dan saling mengenal akan kegiatan yang ada di setiap perguruan tinggi atau lembaga penelitian. Komunikasi antar peneliti dalam membicarakan penelitian dan pendidikan lingkungan serta usaha pemecahan masalah lingkungan dapat dilakukan. Dengan demikian, hal ini dapat memacu timbulnya pemikiran terpadu dalam melakukan usaha pelestarian lingkungan. Dalam seminar, makalah dibagi menjadi: Manajemen Sumberdaya Berkelanjutan, Komputasi - Perangkat Lunak dan Permodelan Lingkungan, Teknologi Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Penyehatan Lingkungan, Lingkungan dan Sistem Sosial, Industri – Pembangunan – Lingkungan, dan Green Infrastructure.

Pemakalah yang hadir berasal dari: Universitas Muhammadiyah Mataram; Program Magister Ilmu Lingkungan, Program Pasca Sarjana, Universitas Udayana; Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Universitas Udayana; FMIPA, Universitas Negeri Semarang; Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro; Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung; Program Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro; Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Pati; Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada; Sekolah Tinggi Teknik Lingkungan, Yogyakarta; Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia; Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional; Program Studi Meteorologi, Institut Teknologi Bandung; Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI, Bandung; Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITENAS, Bandung; Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman, Kementerian Pekerjaan Umum; Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Trisakti; Pusat Penelitian Oseanografi, LIPI; Fakultas Teknik, Universitas Sahid; Pusat Perpustakaan dan Penyebaran Informasi Pertanian, Bogor; Teknik Kimia, Universitas Mulawarman; Teknik Lingkungan, Universitas Mulawarman; Fakultas Teknik, Universitas Lambungmangkurat; Bagian Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Mulawarman; PT. Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung; Politeknik Banjarmasin; Fakultas Teknik Universitas

Lambung Mangkurat; Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.

Penyusunan prosiding Penelitian Masalah Lingkungan di Indonesia 2012 mengalami banyak hambatan dan rintangan. Kesibukan para pemakalah sebagai salah satu penyebab tertundanya penyempurnaan makalah agar sesuai dengan kisi-kisi dan aturan majalah Ilmiah Lingkungan Tropis. Akhirnya atas kegigihan team Redaktur Lingkungan Tropis, prosiding dengan format dan isi yang sempurna dapat diterbitkan. Disamping itu seminar ini dapat terlaksana dengan baik tentu atas dukungan para Dosen dan mahasiswa Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada maupun Pengurus serta Senior IATPI. Selain itu, ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada GreenCitarum Foundation atas pendanaannya sehingga seminar ini berlangsung yang ke delapan kalinya. Seminar ini diharapkan akan terus berlanjut setiap tahun sebagai salah satu kegiatan ilmiah dalam bidang lingkungan di Indonesia.

Priana Sudjono  
Editor Ketua



## Daftar Isi

Panitia  
Indeks Nama Pemakalah  
Kata Pengantar

### Buku 2

<b>MANAJEMEN SUMBERDAYA BERKELANJUTAN</b>	<b>Halaman</b>
PENGURANGAN POTENSI PENIPISAN LAPISAN OZON DARI IMPORT BAHAN PERUSAK OZON DI INDONESIA Sumaryati dan Tuti Budiwati	303 – 311
KLASTER CURAH HUJAN DAN KONDISI KIMIA ATMOSFER DI BANDUNG PADA PERIODE EL NIÑO 2002-2003 Ina Juaeni dan Iis Sofiati	313 – 323
ITCZ GANDA DAN PENGARUHNYA TERHADAP PRESIPITASI DI BENUA MARITIM INDONESIA Erma Yulihastin dan Trismidianto	325 – 338
KUALITAS AIR UNIT TABUNGANEN PROVINSI KALIMANTAN SELATAN PASCA REKLAMASI SELAMA 30 TAHUN Ulfa Fitriati, Darmanto, dan Rachmad Jayadi	339 – 347
ANALISIS VEGETASI LINGKUNGAN ALAMI <i>Tetrastigma glabratum</i> DI HUTAN LINDUNG GUNUNG PRAU Lianah, Henna Rya S., dan Munifatul Izzati	349 – 358
PERAMALAN PRODUKSI, KEBUTUHAN, DAN PEMANFAATAN KAYU GALAM SEBAGAI BAHAN BANGUNAN DALAM PEMBANGUNAN RUMAH Aventi	359 – 368
<b>KOMPUTASI, PERANGKAT LUNAK, DAN PEMODELAN LINGKUNGAN</b>	
ANALISIS POLA SIRKULASI ARUS PERMUKAAN DI SAMUDERA HINDIA DAN SAMUDERA PASIFIK BERBASIS MODEL Martono dan Bambang Siswanto	369 – 378
ANALISIS UJI STATISTIK DATA CURAH HUJAN DAN HUBUNGANNYA DENGAN VARIETAS PADI Lilik Slamet S.	379 – 387
PEMBANDINGAN DATA CURAH HUJAN BULANAN ESTIMASI SATELIT TRMM TERHADAP DATA CURAH HUJAN OBSERVASI DI SUMATERA Lely Qodrita Avia dan Bambang Siswanto	389 – 399

PROYEKSI IKLIM UNTUK ESTIMASI CADANGAN AIR DI WILAYAH JAKARTA Armi Susandi dan Mamad Tamamadin	401 – 409
ANALISIS OZON, UAP AIR DAN KARBON MONOKSIDA (CO) PADA KONDISI CURAH HUJAN EKSTREM TAHUN 2010 DI PULAU JAWA Ninong Komala dan Ina Juaeni	411 – 423
ANALISIS PARAMETER METEOROLOGI DENGAN KEJADIAN TITIK PANAS (HOTSPOT) DI PEKANBARU-RIAU Juniarti Visa	425 – 432
PERILAKU CURAH HUJAN KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA BERBASIS HASIL ANALISIS DATA INDEKS MONSUN GLOBAL TERKAIT DENGAN PROGRAM <i>FOOD</i> DAN <i>RICE ESTATE</i> DI PROVINSI KALIMANTAN TIMUR Eddy Hermawan	433 – 441
<b>TEKNOLOGI PENGENDALIAN PENCEMARAN LINGKUNGAN</b>	
PEMANFAATAN TEKNOLOGI ELEKTROKOAGULASI UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH DOMESTIK SKALA APLIKASI KOMUNAL Bambang Iswanto, Diana Hendrawan, dan M. Lindu	443 – 450
STUDI STABILISASI/SOLIDIFIKASI LIMBAH KEGIATAN PENGEBORAN DI SEKTOR HULU MIGAS Bakhtiar Nofti C., Retno Dwirestiani, Agung Imantyoko, dan Damar Aryo Sutrisno	451 – 463
STUDI EFISIENSI WAKTU OPERASI AERATOR TERHADAP PEMAKAIAN LISTRIK PADA INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) MARGASARI BALIKPAPAN Abdul Kahar, Novy Pralisa Putri, dan Diba Rahmalila Aktaria	465 – 473
EFISIENSI PEMBAKARAN SAMPAH MEDIS DAN OPTIMALISASI PENURUNAN KUALITAS AIR LIMBAH INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT ISLAM (RSI) SAMARINDA Blego Sedionoto	475 – 482
PENGGUNAAN ABU AMPAS TEBU UNTUK MENINGKATKAN KUAT TEKAN BETON DARI AGREGAT BETON BEKAS Rosyid Kholilur Rohman dan Setiyo Daru Cahyono	483 – 490
<b>PENYEHATAN LINGKUNGAN</b>	
LOGAM BERAT Pb, Cd, DAN Cu PADA SAYURAN DI KABUPATEN BOGOR Yulis Hindarwati dan Arif Anshori	491 – 499
KONTAMINASI RESIDU ORGANOFOSFAT PADA DARAH PETANI SAYURAN DI PATI DAN BREBES Indratin, Sri Wahyuni dan Asep Nugraha Ardiwinata	501 – 508

## **LINGKUNGAN DAN SISTEM SOSIAL**

- PARTISIPASI MASYARAKAT  
DALAM REHABILITASI HUTAN MANGROVE  
DI DESA KARTIKAJAYA, KENDAL  
Anita Ulifah, Boedi Hendrarto, dan Hartuti Purnawerni 509 – 520
- TANGKAPAN NELAYAN PANCING DI KAMPUNG MUTUS,  
KABUPATEN RAJAAMPAT: HASIL PENDATAAN MASYARAKAT  
Nurul Dhewani Mirah Sjafrie 321 – 528
- STRATEGI PENGELOLAAN SAMPAH TERPADU  
BERBASIS KOMUNITAS LOKAL  
Widodo B., R. Lupiyanto, dan Tuti Anuriyah 529 – 538

## **INDUSTRI, PEMBANGUNAN, DAN LINGKUNGAN**

- KINERJA PENGELOLAAN LINGKUNGAN INDUSTRI TEKSTIL  
DI KOTA SEMARANG PASCA ADAPTASI MORFOLOGI  
Zaenuri 539 – 547
- POLUSI UDARA DAN IKLIM DI KOTA PALEMBANG  
Dessy Gusnita 549 – 557
- INDIKASI TERJADINYA PEMANASAN GLOBAL  
DI KOTOTABANG SUMATERA BARAT  
HASIL ANALISIS PERILAKU SUHU DAN KARBONDIOKSIDA  
Iis Sofiati dan Juniarti Visa 559 – 569
- POTENSI PENGGUNAAN TMPA NASA  
DALAM MEMPREDIKSI BAHAYA LONGSOR  
Nani Cholianawati, Indah Susanti, Soni Aulia Rahayu,  
Sinta Berliana Sipayung, dan Rahmat Sunarya 571 – 578

## **GREEN INFRASTRUCTURE**

- DAMPAK TUNGKU TRADISIONAL TERHADAP KADAR  
KARBON MONOKSIDA DI DALAM RUANGAN DAPUR  
Darmanijati dan Lily Handayani 579 – 587
- KAJIAN PENERAPAN SISTEM SAMBUNGAN RUMAH  
DI KAWASAN PERKOTAAN  
Nurhasanah Sutjahjo, M Tohir, dan R Pamekas 589 – 599



**PROYEKSI IKLIM UNTUK ESTIMASI CADANGAN AIR  
DI WILAYAH JAKARTA**

**PROJECTION OF CLIMATE TO ESTIMATE WATER RESERVE  
IN JAKARTA REGION**

---

**Armi Susandi<sup>1)</sup>, Mamad Tamamadin<sup>2)</sup>**

Program Studi Meteorologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan - ITB

Ged. Labtek XI It. 1, Jalan Ganesa 10, Bandung

Email: <sup>1)</sup>armi@meteo.itb.ac.id; <sup>2)</sup>mamadtama@meteo.itb.ac.id

**Abstrak:** Perubahan iklim yang terjadi berpengaruh pada perubahan pola curah hujan, yang secara tidak langsung akan mempengaruhi juga pada kandungan air tanah. Berkaitan dengan hal tersebut, Jakarta sebagai ibu kota negara Indonesia, yang merupakan salah satu daerah terpadat di Indonesia, pasokan air menjadi sangat penting peranannya saat ini hingga di masa mendatang. Dengan kondisi wilayah Jakarta yang juga tinggi penggunaan lahannya dan diperparah dengan perubahan iklim yang terus terjadi, maka diperkirakan kerentanan di kota Jakarta terhadap cadangan air di masa mendatang akan menjadi semakin tinggi. Makalah ini membahas proyeksi iklim di wilayah Jakarta, terutama perubahan pola curah hujan hingga tahun 2035, untuk mengestimasi cadangan air di Jakarta. Proyeksi iklim ini dihasilkan dari simulasi model iklim menggunakan salah satu metode Stokastik, yaitu kombinasi *Fast Fourier Transform* dan *Least Square Non-Linier*, dan menggunakan data iklim selama 30 tahun di 5 titik stasiun observasi cuaca. Hasil proyeksi iklim yang diperoleh selanjutnya menjadi nilai untuk perhitungan besarnya kandungan air tanah di wilayah Jakarta. Hasil akhir menunjukkan, pola curah hujan akan mengalami perubahan di beberapa daerah. Curah hujan akan mengalami penurunan di wilayah yang berdekatan dengan Tanjung Priok, dan akan mengalami kenaikan di wilayah yang berdekatan dengan Kemayoran.

**Kata Kunci:** cadangan air, kerentanan, perubahan iklim, proyeksi curah hujan

**Abstract:** *climate change has caused to changing of rainfall pattern, that is not directly, will affect on ground water. Relating to the condition, Jakarta, as the capital of Indonesia, is being one of crowded regions in Indonesia, therefore water need will be important role today and for the future. Observing Jakarta, its land use, and climate change impact as well, so vulnerability of Jakarta on water reserve will be more essential. This paper discuss projection of climate in Jakarta, especially on rainfall patter till 2035, in order to estimate water reserve in Jakarta. This projection of climate was resulted from climate modeling using one of Stochastic methods, namely combination of Fast Fourier Transform and Least Square Non Linier, and utilized climate data during 20 years in 5 weather observations in Jakarta. The result shows that pattern of rainfall will change in several regions. Rainfall will decrease near Tanjung Priok region, and will increase in someplace near Kemayoran.*

**Keywords:** *climate change, projection of rainfall, vulnerability, water reserve*

## I. PENDAHULUAN

Perubahan variabilitas iklim saat ini berpengaruh pada pengelolaan air yang ada di Jakarta. Di satu sisi, Jakarta selalu mengalami kejadian banjir, tetapi di sisi lain mengalami kekurangan cadangan air tanah. Hal ini membuat masyarakat dan pemerintah Jakarta akan kesulitan dalam perencanaan pembangunannya jika tidak mengetahui jumlah cadangan air tanah saat ini di masa mendatang. Untuk itu, perlu adanya kajian untuk mengestimasi besarnya cadangan air tanah Jakarta yang tentunya berasal dari air hujan baik yang jatuh langsung di atas kawasan Jakarta maupun di sekitarnya. Sehingga dengan demikian, perencanaan pembangunan Jakarta akan lebih baik lagi karena telah memperhitungkan resiko kejadian di masa mendatang.

Kekurangan dan kelebihan air di Jakarta saat ini berkaitan dengan perubahan pola curah hujan yang disebabkan karena adanya perubahan iklim. Frekuensi dan besarnya curah hujan yang terjadi di Jakarta saat ini menjadi sulit untuk diprediksi lagi sehingga pemerintah dan masyarakat tidak siap untuk dapat mengubah air hujan tersebut menjadi air yang bermanfaat. Sehingga air hujan kebanyakan menjadi limpasan dan tergenang di daerah-daerah yang berdataran rendah, bukan menjadi air tanah yang bisa dimanfaatkan.

Dalam mengkaji cadangan air tanah Jakarta, permasalahan utama yang terlebih dahulu perlu dilakukan adalah mengetahui kondisi perubahan pola curah hujan di masa mendatang. Karena saat ini, pola curah hujan di Jakarta dan sekitarnya disinyalir mengalami perubahan yang menyebabkan pola aliran air di atas (*run off*) dan aliran di bawah permukaan (*base flow*) akan berbeda dari beberapa dekade yang lalu. Pola curah hujan ini bisa disebabkan oleh faktor skala lokal, regional, maupun global. Namun dari data statistik yang sudah dianalisis, pola curah hujan Jakarta lebih dominan dipengaruhi oleh faktor lokal, yaitu perbedaan daratan dan lautan, terutama yang terjadi di Jakarta bagian utara. Hal senada juga telah dinyatakan oleh Tambunan (2008), bahwa karakteristik wilayah banjir seperti Jakarta merupakan akibat dari pola curah hujan lokal.

Selain masalah perubahan pola curah hujan, permasalahan air di Jakarta juga disebabkan oleh laju pertumbuhan penduduk tidak tinggi. Fakta menunjukkan bahwa tingkat kepadatan penduduk ternyata semakin tinggi, dan bahkan berdasarkan hasil proyeksi yang dilakukan oleh Badan Pusat Statistik (BPS), peningkatan penduduk Jakarta tahun 2025 mencapai 5,6 persen dari jumlah penduduk Jakarta tahun 2010. Dari perkiraan proyeksi penduduk tersebut, jika didistribusikan berdasarkan tata guna lahan di kawasan DKI Jakarta, maka lahan terbuka Jakarta hanya akan tersisa sekitar 15% dari seluruh luas wilayah DKI Jakarta (BPS, 2008). Penurunan lahan terbuka ini juga mengakibatkan semakin sempitnya lahan untuk infiltrasi air hujan yang akan menjadi cadangan air tanah.

Makalah ini menyajikan hasil riset berupa proyeksi perubahan pola curah hujan Jakarta dan cadangan air di Jakarta. Cadangan air di Jakarta tersebut akan diproyeksikan untuk tahun 2010, 2015, 2020, 2025, 2030, dan 2035. Lebih lanjut, hasil riset ini akan dapat bermanfaat

untuk memperkirakan pilihan adaptasi ke depan yang dapat diterapkan untuk mengatasi permasalahan sumber daya air di Jakarta melalui pengembangan zona-zona kerentanan sumber daya air di Jakarta.

## II. DATA DAN METODOLOGI

### II.1 Data

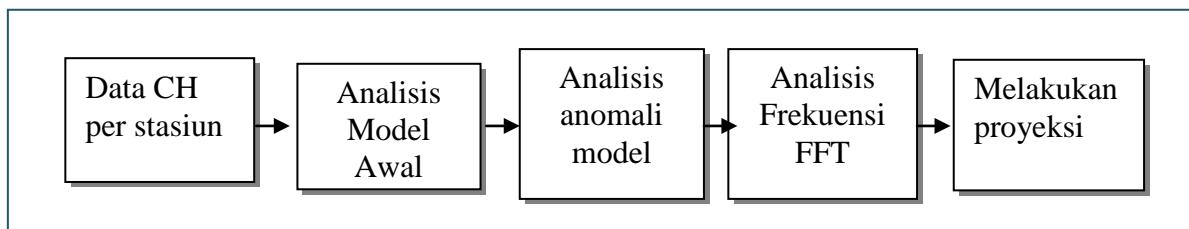
Data yang digunakan adalah: curah hujan bulanan selama 30 tahun dari 5 stasiun pos hujan di Jakarta, peta jenis tanah, dan temperatur bulanan dari 5 stasiun klimatologi Jakarta.

### II.2 Metodologi

Untuk mendapatkan proyeksi iklim dan cadangan air tanah di wilayah Jakarta, metode yang dilakukan adalah pengembangan model iklim dan perhitungan cadangan air tanah menggunakan metode Thornthwaite.

#### II.2.1 Pengembangan model proyeksi curah hujan Jakarta

Untuk mengembangkan model iklim Fast Fourier Transform, data curah hujan dan temperatur akan menjadi input model proyeksi musim dan iklim (Susandi dkk, 2008), dimana langkah-langkah model tersebut akan dijelaskan sebagai berikut. Untuk menghasilkan hasil proyeksi yang baik, model ini memerlukan 3 langkah analisis, yaitu Analisis prediksi awal, analisis anomali dan analisis FFT (Gambar 1). Ketiganya digunakan untuk mengoreksi hasil proyeksi satu sama lain sehingga dihasilkan data proyeksi yang stabil dan lebih akurat.



**Gambar 1.** Alur prediksi curah hujan Jakarta

**Langkah pertama** adalah prediksi secara langsung. Data curah hujan untuk satu lokasi dianalisis dengan *Least Square* untuk menghasilkan kurva fitting yang bersesuaian. Persamaan kurva yang dipilih adalah *Deret Fourier* yang dimodifikasi sedemikian rupa hingga bisa cocok dengan data curah hujan.

**Langkah kedua** adalah analisis perubahan yang bertujuan untuk melacak perubahan dari waktu ke waktu yang terjadi sehingga *trend* perubahan cuaca itu sendiri dapat teridentifikasi. Untuk mendapatkan data perubahan ini, data lapangan akan direduksi oleh data rata-rata curah hujan. Hasil dari reduksi ini menghasilkan data dengan *noise* yang cukup tinggi sehingga untuk menganalisisnya secara langsung hanya akan memunculkan *error* simpangan yang tinggi pula. Hasil filter ini akan dianalisis lebih lanjut menggunakan analisis kurva

*fitting* seperti langkah pertama sehingga memberikan trend perubahan curah hujan yang akan digunakan dalam koreksi data prediksi sebelumnya.

**Langkah ketiga** adalah analisis sifat priodik data yang bertujuan untuk memberikan informasi waktu berulangnya suatu simpangan curah hujan bersekala besar yang diduga akibat suatu fenomena alam yang terjadi seperti La-Nina dan El-Nino. *Fast Fourier Transform* diskrit digunakan untuk mengubah data curah hujan domain waktu (*time series*) menjadi data frekuensi curah hujan. Perubahan yang signifikan dengan periode tertentu akan dipilih secara manual sebagai bahan koreksi data prediksi dalam kurun waktu jangka panjang.

Langkah terakhir dalam model ini adalah pemetaan kontur curah hujan untuk suatu wilayah dengan metode *Universal Kriging*. Metode universal dipakai karena memberikan keleluasan dalam menentukan tingkat kemiringan distribusi data (curah hujan) atau fungsi *drift* yang berbentuk polinomial orde  $n$ . Penentuan fungsi *drift* ini sendiri ditentukan dengan mengacu data citra satelit untuk daerah tersebut.

## II.2.2 Perhitungan Proyeksi Cadangan Air Tanah Jakarta

Dalam konsep siklus hidrologi bahwa jumlah air di suatu luasan tertentu di permukaan bumi dipengaruhi oleh besarnya air yang masuk (*input*) dan keluar (*output*) pada jangka waktu tertentu. Neraca masukan dan keluaran air di suatu tempat dikenal sebagai neraca air (*water balance*). Karena air bersifat dinamis maka nilai neraca air selalu berubah dari waktu ke waktu sehingga di suatu tempat kemungkinan bisa terjadi kelebihan air (*suplus*) ataupun kekurangan (*defisit*). Apabila kelebihan dan kekurangan air ini dalam keadaan ekstrim tentu dapat menimbulkan bencana, seperti banjir ataupun kekeringan.

Neraca air menjadi ukuran dalam estimasi cadangan air tanah di DKI Jakarta. Jika di suatu wilayah Jakarta terdapat surplus air, maka di wilayah itu masih terdapat cadangan air. Atau sebaliknya. Dalam perhitungan neraca air lahan bulanan ini menggunakan metode Thornthwaite-Mather (1957). Diperlukan data masukan yaitu curah hujan bulanan (CH), evapotranspirasi bulanan (ETP), kapasitas lapang (KL) dan titik layu permanen (TLP). Nilai - nilai yang diperoleh dari analisis neraca air lahan ini adalah harga-harga dengan asumsi- asumsi : (1) lahan datar tertutup vegetasi rumput, (2) lahan berupa tanah dimana air yang masuk pada tanah tersebut hanya berasal dari curah hujan saja dan (3) keadaan profil tanah homogen sehingga KL dan TLP mewakili seluruh lapisan dan hamparan tanah.

- Perhitungan probabilitas curah hujan (CH):  
 $CH (P>75\%) = 0,82 \text{ CH rata-rata} - 30$   
 $= (0,82 \times 132) - 30 = \mathbf{41,28 \text{ mm}}$
- Evapotranspirasi potensial (ETP)  
Untuk menduga ETP metode Thornthwaite bisa menggunakan rumus. Rumus ini berlaku untuk suhu udara rata -rata bulanan ( $t < 26,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ), yaitu

$$\mathbf{ETP = 1,6 (10 t/I)^a}$$



dimana,

ETP = evaporasi potensial bulan (cm/bulan)

t = suhu rata-rata bulanan (°C)

I = akumulasi indeks panas dalam setahun, diperoleh dengan rumus :

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514}$$

$$a = 0,000000675 I^3 - 0,0000771 I^2 + 0,01792 I + 0,49239$$

F = faktor koreksi terhadap panjang hari dari letak lintang (diperoleh dari tabel 1)

Sedangkan untuk data suhu  $t \geq 26,5$  °C, gunakan rumus :

$$\text{ETP}(t \geq 26,5 \text{ } ^\circ\text{C}) = - 0,0433 t^2 + 3,2244 t - 41.545$$

Nilai ETP yang diperoleh ini belum dikoreksi dengan faktor kedudukan matahari atau faktor lintang (F). Nilai F dapat dilihat dalam Tabel 1. Sehingga nilai :

$$\text{ETP (terkoreksi)} = \text{ETP} \cdot F$$

Tabel 1. Faktor koreksi (F) untuk kedudukan matahari atau faktor lintang

Lintang Selatan	Bulan											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	1,06	0,95	1,04	1,00	1,02	0,99	1,02	1,03	1,00	1,05	1,03	1,06

- Akumulasi potensial kehilangan air untuk penguapan (APWL)  
 APWL merupakan penjumlahan nilai CH-ETP yang negatif secara berurutan bulan demi bulan.
- Kandungan air tanah (KAT)  
 Menghitung kandungan air tanah (KAT) dilakukan jika terjadi APWL dengan rumus:  

$$\text{KAT} = \text{TLP} + [ [ 1,00041 - (1,07381/\text{AT}) ] | \text{APWL} | \times \text{AT} ]$$

dimana, TLP =titik layu permanen dan KL = kapasitas lapang dan air tersedia,  $\text{AT} = \text{KL} - \text{TLP}$   
 $| \text{APWL} | =$  nilai absolut APWL

Kemudian, hitung nilai KAT tidak terjadi APWL dengan cara:  
 $\text{KAT} = \text{KAT terakhir} + \text{CH} - \text{ETP}$  , jika bila nilai KAT-nya mencapai Kapasitas Lapang (KL) maka yang diambil adalah nilai KL.
- Perubahan kadar air tanah (dKAT)  
 Nilai dKAT bulan tersebut adalah KAT bulan tersebut dikurangi KAT bulan sebelumnya. Nilai positif menyatakan perubahan kandungan air tanah yang berlangsung pada  $\text{CH} > \text{ETP}$  (musim hujan), penambahan berhenti bila dKAT =0 setelah KL tercapai. Sebaliknya bila  $\text{CH} < \text{ETP}$  atau dKAT negatif, maka seluruh CH dan sebagian KAT akan di -evapotranspirasi-kan.

- Evapotranspirasi Aktual (ETA)  
Bila  $CH > ETP$  maka  $ETA = ETP$  karena ETA mencapai maksimum.  
Bila  $CH < ETP$  maka  $ETA = CH + |dKAT|$   
karena seluruh CH dan dKAT seluruhnya akan dievapotranspirasikan.
  - Defisit (D)  
Defisit berarti berkurangnya air untuk dievapotranspirasikan sehingga,  $D = ETP - ETA$  ,  
berlangsung pada musim kemarau.
  - Surplus (S)  
Surplus berarti kelebihan air ketika  $CH > ETP$  sehingga,  $S = CH - ETP - dKAT$ ,  
berlangsung pada musim hujan.
  - Run Off (RO)  
Run off (RO) merupakan aliran permukaan atau limpasan. Thornthwaite dan Mather (1957) membagi RO menjadi dua bagian :
    1. 50% dari Surplus bulan sekarang ( $S_n$ ).
    2. 50% dari RO bulan sebelumnya ( $RO_{n-1}$ ).
- Nilai 50% adalah koefisien run off studi di Amerika. Nilai ini dapat berubah sesuai kondisi setempat. Sehingga,  
 $RO$  bulan sekarang ( $R_n$ ) = 50% ( $S_n + RO_{n-1}$ )  
Misal untuk RO Maret = 50% (152 + 137) = 144 mm.  
Khusus RO bulan Januari, karena  $RO_{n-1}$  belum terisi maka  $RO_{n-1}$  diambil 50% dari surplus bulan Desember (50% dari 56 = 28 mm).
- Volume Air Tanah (WS)  
Untuk menghitung cadangan air Jakarta, maka diperoleh dari selisih antara nilai Surplus dengan nilai Run Off seperti berikut:

$$WS = S - RO$$

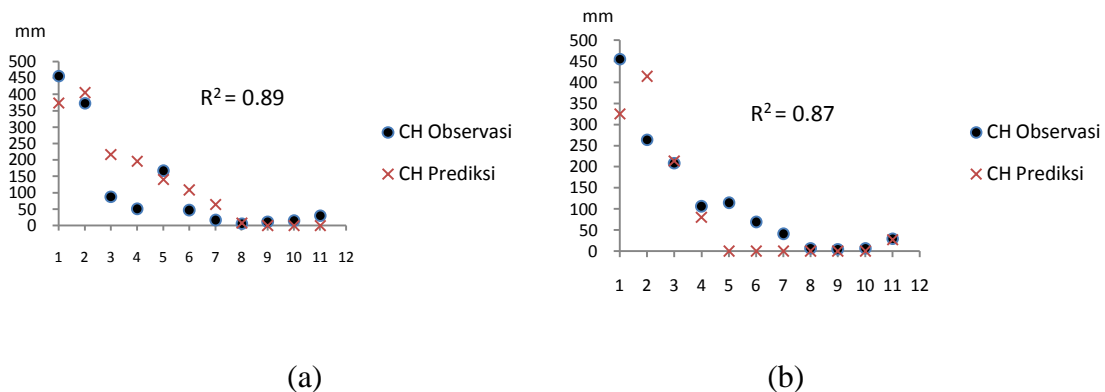
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara umum, Jakarta memiliki iklim tropis, dengan temperatur tahunan rata-rata sekitar 27 °C dengan kelembaban 80 - 90%. Jakarta merupakan daerah yang memiliki curah hujan cukup tinggi dengan temperatur yang juga tinggi. Curah hujan bulanan rata-rata 200 mm, dimana curah hujan tertinggi adalah bulan Januari dan terendah terjadi pada bulan September ([www.bappedajakarta.go.id](http://www.bappedajakarta.go.id)). Peningkatan temperatur udara Jakarta juga terlihat signifikan per periode iklim 30 tahun, dimana perubahan temperatur udara periode terakhir (1991-2002) terhadap periode masa lalu (1901-1930) yang mengalami kenaikan paling tinggi mencapai 0.124°C/tahun (Avia, 2010).

Dari hasil pengamatan historis terhadap kondisi iklim Jakarta tersebut di atas, terlihat terjadinya perubahan tren temperatur. Perubahan tren temperatur ini memungkinkan

berpengaruh juga terhadap pola curah hujan yang terjadi di Jakarta (Trenberth, dkk., 2005). Perubahan pola curah hujan yang diakibatkan oleh perubahan tren temperatur ini dapat terjadi di Jakarta untuk wilayah utara, pusat, maupun selatan.

Untuk mengetahui perubahan temperatur dan pola curah hujan di Jakarta di masa mendatang, model iklim untuk wilayah Jakarta telah dikembangkan dan telah menghasilkan proyeksi curah hujan dan temperatur hingga tahun 2035. Untuk menguji hasil prediksi model ini, Gambar 2 memperlihatkan korelasi antara data observasi dengan hasil prediksi curah hujan bulanan untuk stasiun Tanjung Priok dan Cengkareng pada tahun 2009. Pada tahun tersebut, perbandingan antara data observasi dan hasil prediksi curah hujan Jakarta menunjukkan nilai koefisien korelasi sebesar 0,89. Sedangkan untuk stasiun Cengkareng, nilai koefisien korelasi antara keduanya mencapai 0,87.



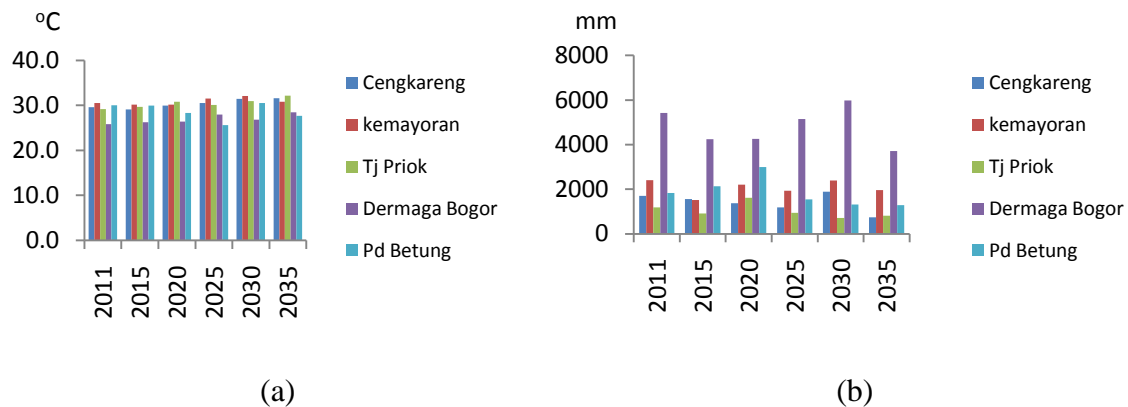
**Gambar 1.** Pengamatan dan prediksi curah hujan tahun 2009: (a) Tanjung Priok dan (b) Cengkareng

Proyeksi curah hujan tahunan menunjukkan perubahan jumlah curah hujan yang terjadi di wilayah Jakarta dan sekitarnya. Untuk keperluan menghitung estimasi cadangan air Jakarta, maka sebelumnya curah hujan bulanan juga telah diproyeksikan. Pada Gambar 3(a) diperlihatkan proyeksi temperatur tahunan yang menunjukkan kenaikan temperatur di wilayah Jakarta mencapai 0,3 °C hingga tahun 2035. Dari kelima stasiun yang dianalisis, stasiun Kemayoran memiliki kenaikan temperatur yang paling tinggi. Pada tahun 2011, temperatur rata-rata tahunan sebesar 30,5 °C dan akan meningkat mencapai 30,8 °C pada tahun 2035.

Proyeksi curah hujan tahunan di wilayah Jakarta ditunjukkan pada Gambar 3(b). Hingga tahun 2035, wilayah Jakarta mengalami penurunan jumlah curah hujan tahunan sebesar 232 mm per tahun. Pada tahun tersebut, curah hujan rata-rata tahunan mencapai 1.205 mm dan puncaknya terjadi pada bulan Januari. Tanjung Priok merupakan daerah Jakarta yang memiliki curah hujan paling rendah diantara keempat daerah lainnya dimana pada tahun 2011, wilayah ini hanya memiliki curah hujan tahunan sebesar 1.195 mm atau rata-rata sebesar 99 mm per bulan. Setelah diproyeksikan, curah hujan tahunan untuk wilayah Tanjung

Priok adalah sebesar 819 mm atau rata-rata sebesar 68 mm per bulan. Juga dilihat dari tren-nya, curah hujan di wilayah Tanjung Priok mengalami penurunan dari tahun ke tahun.

Sedangkan untuk wilayah Kemayoran, tren curah hujan mengalami penurunan hingga tahun 2015, tetapi selanjutnya mengalami kenaikan lagi. Jika diperhatikan secara geografis, daerah Kemayoran berada di Jakarta Pusat. Daerah ini menjadi pusat berkumpulnya massa udara baik dari utara maupun selatan. Dari utara, Kemayoran mendapat massa udara basah dari laut Jawa, sedangkan dari selatan, wilayah ini mendapat kiriman massa udara dari wilayah Bogor.

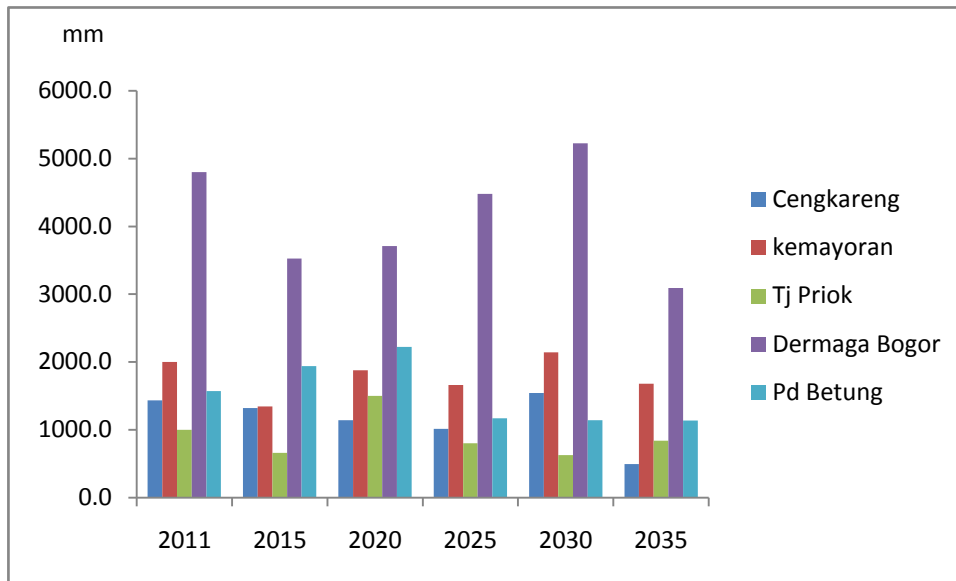


**Gambar 2.** (a) Proyeksi temperatur rata-rata tahunan dan (b) proyeksi curah hujan tahunan

Hal yang sama juga dinyatakan oleh *Institute for Essential Services Reform* (IESR, 2010) bahwa proyeksi curah hujan Jakarta menunjukkan trend naik dan menurun selama periode 2001-2100. Proyeksi curah hujan menunjukkan kondisi yang berbeda dengan temperatur yang menunjukkan trend naik. Curah hujan memiliki pola naik di pertengahan 2001-2100 dan kemudian turun di akhir rentang waktu yang sama.

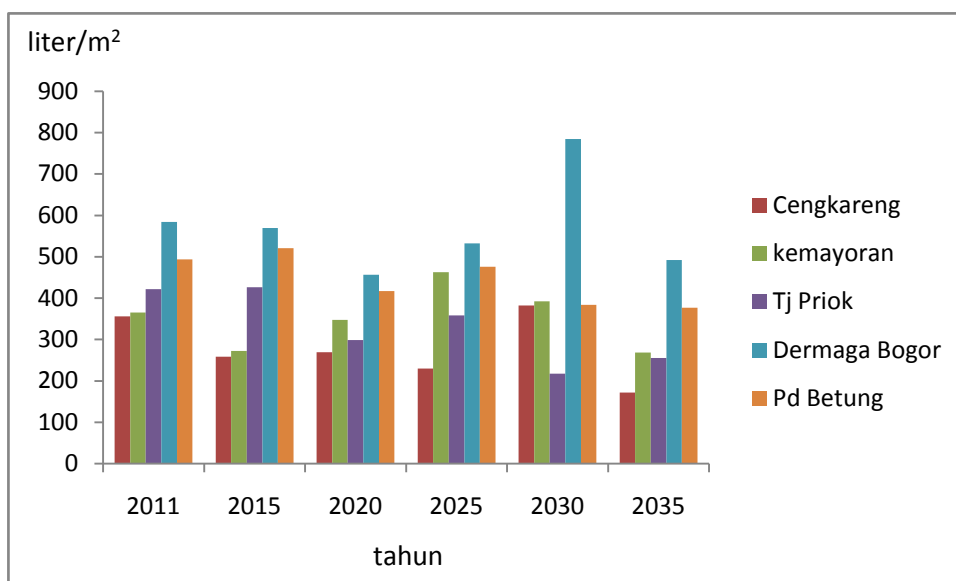
Jumlah limpasan di wilayah Jakarta diproyeksikan mengalami penurunan pada masa mendatang. Hasil perhitungan tersebut belum memasukkan komponen tata guna lahan. Tetapi, tinggi jumlah limpasan sangat tergantung dari kadar air tanah di suatu permukaan. Umumnya, wilayah Jakarta bagian utara memiliki struktur tanah pasir lempung yang mengakibatkan kapasitas lapang dan kadar air tanah yang rendah, sehingga sangat memungkinkan curah hujan akan dikonversi menjadi limpasan. Berbeda dengan daerah Jakarta bagian selatan hingga masuk wilayah Bogor, limpasannya lebih rendah karena struktur tanahnya umumnya adalah tanah latosol.

Tetapi faktor struktur tanah tersebut menjadi sangat kecil pada saat dibandingkan dengan jumlah curah hujan. Perbedaan jumlah curah hujan yang signifikan antara wilayah Jakarta bagian selatan (termasuk Bogor) dan wilayah Jakarta bagian utara, mengakibatkan faktor struktur tanah menjadi sangat kecil. Sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4, proyeksi jumlah limpasan sangat tinggi untuk wilayah Bogor dan sangat rendah untuk wilayah Tanjung Priok. Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, jumlah curah hujan wilayah Bogor sangat tinggi sehingga menimbulkan jumlah limpasan yang juga tinggi.



**Gambar 3.** Proyeksi limpasan (*total run-off*)

Penurunan air tanah Jakarta disebabkan oleh tren curah hujan yang semakin menurun. Selain itu, temperatur yang cenderung meningkat menyebabkan kemampuan lingkungan untuk melakukan evapotranspirasi juga meningkat. Akibatnya, surplus air pun menurun baik sebagai limpasan (*run-off*) maupun aliran dasar (*base flow*). Dari sisi fisik dan tekstur tanah Jakarta secara keseluruhan juga menjadi faktor yang berpengaruh terhadap air yang masuk ke dalam tanah. Jenis tanah memiliki kapasitas lapang berbeda-beda yang mempengaruhi kelembabannya. Karena semakin tinggi kelembaban tanah, maka kadar air tanahnya menurun. Perbedaan dari terjadinya penurunan dan peningkatan kadar air tanah terlihat pada musim hujan dan musim kemarau.



**Gambar 4.** Proyeksi air tanah (liter/m<sup>2</sup>) tahunan di Jakarta dan sekitarnya dengan asumsi tanpa pemukiman penduduk

Pada Gambar 5 di atas, terlihat wilayah Bogor secara umum selalu memiliki cadangan air tanah paling tinggi dibanding 4 daerah lainnya. Bogor memiliki jenis tanah latosol. Jenis tanah ini asosiasinya memiliki sifat tanah yang baik yang memiliki kadar air tanah yang tinggi sehingga mampu menyerap air hujan disamping curah hujan yang selalu tinggi di wilayah ini. Bogor juga memiliki temperatur paling rendah yang menyebabkan tingkat evapotranspirasi juga rendah, sehingga air cenderung menjadi surplus dibandingkan defisit karena evapotranspirasi di daerah ini.

Cengkareng merupakan daerah dengan cadangan air tanah yang paling rendah diantara 4 daerah pengamatan lainnya. Daerah Cengkareng umumnya memiliki tekstur tanah pasir kasar-halus, sedikit lempung dengan pecahan cangkang kerang. Kapasitas lapang untuk tekstur tanah jenis ini adalah sebesar 10 % (Saxton, dkk, 2006). Tekstur tanah ini merupakan tanah dengan kadar air tanah yang sangat rendah. Oleh karena itu, meskipun curah hujannya cukup tinggi (lihat Gambar 3(b)), kapasitas lapang untuk membuat surplus air sangat rendah dan kemampuan evapotranspirasi sangat tinggi. Sehingga, air hujan akan lebih banyak defisit dibandingkan surplus.

#### **IV. KESIMPULAN**

Dari hasil pembahasan di atas, terdapat beberapa kondisi spesifik yang terjadi di wilayah Jakarta. Hasil proyeksi menunjukkan bahwa diantara 5 stasiun pos hujan yang dikaji, penurunan tren curah hujan terjadi di wilayah sekitar stasiun Tanjung Priok, sedangkan kenaikan curah hujan terjadi di wilayah sekitar stasiun Kemayoran. Kenaikan curah hujan di Kemayoran disebabkan oleh faktor lokasi geografis wilayah tersebut, yaitu berada di pusat Jakarta, sehingga mengakibatkan wilayah tersebut mendapatkan massa udara basah dari dua wilayah, yaitu Bogor dan Laut Jawa. Perubahan tren dan pola curah hujan tersebut adalah implikasi dari kenaikan tren temperatur yang terjadi di Jakarta dan sekitarnya. Untuk hasil estimasi cadangan air tanah, wilayah Cengkareng merupakan daerah yang paling rentan mengalami defisit air tanah. Estimasi ini dihasilkan setelah memasukkan perhitungan parameter struktur tanah dan curah hujan yang terjadi di Jakarta.

#### **Daftar Pustaka:**

Avia, L.Q. "Kondisi Iklim Jakarta pada Masa Lalu dan Masa Kini". Prosiding Seminar Nasional Pemanasan Global dan Perubahan Global - Fakta, Mitigasi, dan Adaptasi. ISBN: 978-979-17490-0-8. 2010

Farhamsa, D., Susandi, A., Tamamadin, M. "Climate Change Modeling with Non-Linear Least Square and Fast Fourier Transform Methods". Prosiding International Conference on Mathematics and Natural Sciences 2008.

**Global cities of the future: An interactive map.** McKinsey & Co.  
[http://www.mckinseyquarterly.com/Cities\\_the\\_next\\_frontier\\_for\\_global\\_growth\\_2758](http://www.mckinseyquarterly.com/Cities_the_next_frontier_for_global_growth_2758)

Institute for Essential Services Reform (ICSR). "Banjir Besar Jakarta dan Jawa di antara tahun 2025-2050". <http://www.iesr.or.id/2010/05/banjir-besar-jakarta-dan-jawa-di-antara-tahun-2025-2050/>. 2010

**Jakarta Dalam Angka Tahun 2012.** Badan Pusat Statistik (BPS) Jakarta

**Peta Geologi Tata Lingkungan Lembar Jakarta.** Direktorat Geologi Tata Lingkungan

Saxton, K.E. dan Rawls, W.J. "Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions". Soil Science Society of America Journal 70: 1569-1578. 2006

Tambunan, Mangapul P. "Pola Curah Hujan Lokal dan Pola Sungai Sebagai Pemicu Banjir di Jakarta". Seminar Nasional Sistem Informasi Geografis Konferensi Kupang, Universitas Nusa Cendana. 2008

Thornthwaite, C.W. dan J.R. Mather. "Instruction and Tables for Computing Evapotranspiration and Water Balance". Publication in Climatology. Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology. 1957

Trenberth, K.E. dan Shea, D.J. 2005. "Relationships between Precipitation and Surface Temperature". Geophysical Research Letters, Vol