

## KONSEP KUANTIFIKASI SPASIAL RISIKO BANJIR DALAM SKENARIO PERUBAHAN IKLIM DAN TEKANAN ANTROPOGENIK

**Apip**

*Pusat Penelitian Limnologi,  
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)*

*apip@limnologi.lipi.go.id*

### ABSTRAK

Salah satu hal penting dalam pengelolaan risiko banjir banjir adalah tersedianya informasi spasial risiko yang dibuat berdasarkan integrasi empat komponen: debit aliran ( $q$ ), tinggi genangan air ( $h$ ), luas genangan ( $a$ ), durasi genangan ( $t$ ), dan nilai kerugian akibat bencana banjir ( $\theta$ ). Perubahan nilai risiko  $f(q, h, a, t, \theta)$  dihipotesakan sensitif terhadap perubahan iklim dan faktor lingkungan lainnya. Oleh karena itu mitigasi risiko banjir sebagai bentuk adaptasi terhadap dampak perubahan iklim dan tekanan faktor antropogenik yang terus meningkat sangatlah penting. Untuk mendukung rencana aksi adaptasi dan meningkatkan pemahaman serta kesadaran masyarakat terkait mitigasi bencana banjir maka diperlukan informasi spasial risiko banjir yang mempunyai resolusi dan presisi tinggi. Pada saat ini peta terkait banjir yang telah tersedia pada umumnya hanya berdasarkan pada skala tingkat bahaya atau kerawanan secara kualitatif dengan resolusi spasial yang masih relatif rendah dan dibuat dengan metoda konvensional. Tulisan ini ditujukan pada penyusunan konsep untuk formulasi spasial risiko banjir dengan memasukan aspek perubahan iklim dan faktor antropogenik. Untuk menghasilkan luaran informasi spasial risiko banjir yang secara saintifik mempunyai presisi tinggi dan dapat diaplikasikan dalam desain rencana tindak maka metoda utama yang dikembangkan di dalam konsep menggunakan: (1) *super-high spatio-temporal resolution*, menggunakan informasi spasial input data serta sistem pemodelan banjir dengan resolusi tinggi; dan (2) *integrated approach*, model prakiraan risiko banjir dikuanti fikasi sebagai fungsi dari dimensi banjir (*flood hazard*) dan dimensi kerentanan (*vulnerability*) komponen biofisik serta sosial-ekonomi Daerah Aliran Sungai (DAS). Lokasi kajian difokuskan di DAS Batanghari, Provinsi Jambi-Sumatera Barat dan 13 DAS yang ada di Provinsi DKI Jakarta, sebagai representasi umum kondisi DAS di Indonesia, sehingga hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu acuan untuk kegiatan yang sama di DAS lainnya.

**Kata Kunci:** *bencana banjir, risiko banjir, perubahan iklim, adaptasi perubahan iklim, Batanghari, Jakarta*

### PENDAHULUAN

Indonesia secara geografis dan hidrotopografi sangat rentan terhadap kejadian berbagai tipe bencana alam terutama yang terkait permasalahan air seperti banjir, kekeringan, dan longsor. Indonesia yang mempunyai sumberdaya air melimpah tercatat mempunyai sekitar 5.590 sungai induk dan 600 di antaranya berpotensi mempunyai risiko tinggi terhadap banjir. Secara total, luasan daerah rawan banjir yang berada di dalam sungai induk mencapai 1,4 juta hektar. Hasil kuantifikasi yang dilakukan Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) menunjukkan bahwa jumlah lokasi, frekuensi dan intensitas kejadian, serta nilai

kerugian dari bencana banjir cenderung terus meningkat dalam periode waktu 50 tahun terakhir.

Berdasarkan informasi BNPB (<http://www.satuharapan.com/read-detail/read/tren-bencana-banjir-meningkat-514-korban-setiap-tahun>) bencana banjir dan longsor di Indonesia cenderung meningkat. BNPB menyebutkan bahwa pada tahun 2003 tercatat 266 kejadian banjir dan tanah longsor dan pada tahun 2013 meningkat menjadi 822 kejadian. Jika dikumulatifkan, dalam periode waktu tersebut terjadi sebanyak 6.288 peristiwa atau 572 kejadian per tahun. Tahun 2010 teridentifikasi mempunyai jumlah kejadian bencana banjir dan tanah longsor terbanyak, yaitu 1.433 kejadian.

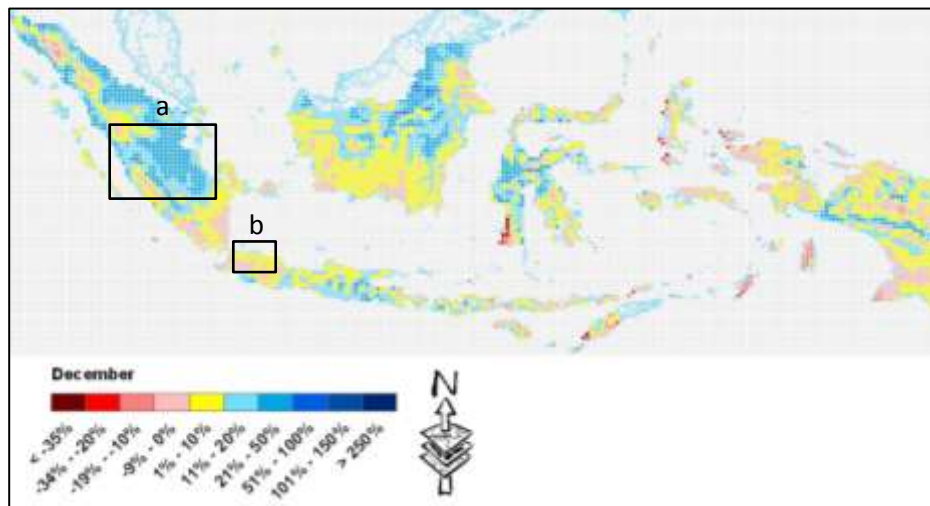
Dari berbagai kajian yang telah dilakukan, banjir yang melanda daerah-daerah rawan pada umumnya disebabkan oleh dua faktor. *Pertama*, disebabkan oleh peristiwa alam seperti curah hujan yang sangat tinggi (cuaca ekstrim) dan kenaikan permukaan air laut. Kondisi ini diperburuk oleh kenyataan bahwa banyak masyarakat yang bermukim di lokasi yang kondisi topografinya lebih rendah dari tinggi muka air aliran sungai pada saat banjir atau lebih rendah dari permukaan laut, misalnya yang terjadi di sebagian wilayah Provinsi DKI Jakarta akibat proses pengambilan air tanah yang berlebih dan gerakan tanah. *Kedua*, kegiatan manusia yang menyebabkan tekanan berlebih akan kebutuhan penggunaan lahan kemudian berdampak pada perubahan fungsi ekosistem serta degradasi lingkungan.

Jika tidak ada upaya mitigasi yang lebih terintegrasi dan berbasis pada partisipasi masyarakat maka perubahan iklim dan penggunaan lahan yang semakin intensif dihipotesakan akan terus berkontribusi pada peningkatan perubahan bahaya dan risiko banjir, khususnya di DAS-DAS yang mempunyai nilai strategis nasional. Oleh karena itu implementasi program adaptasi terhadap perubahan iklim termasuk mitigasi kebencanaan dalam skala DAS mendesak untuk dilakukan. Terkait hal ini maka kuantifikasi risiko dengan landasan ilmiah dan tingkat resolusi serta akurasi yang lebih tinggi sangat diperlukan. Fakta lain, meskipun penelitian terkait perubahan iklim sudah banyak dilakukan, kajian mengenai proyeksi dampak perubahan iklim terhadap risiko banjir masih jarang dilakukan di Indonesia. Oleh karena itu maka tulisan ini menyajikan mengenai

konsep kuantifikasi spasial risiko banjir dalam skala DAS dengan presisi tinggi dengan memasukkan fungsi perubahan iklim dan faktor antropogenik.

## METODE

Daerah Aliran Sungai Batanghari ( $47.479,54 \text{ km}^2$ ) yang terletak di Provinsi Jambi dan Provinsi Sumatera Barat, serta 13 DAS ( $6.070,00 \text{ km}^2$ ) yang sebagian wilayahnya berada di dalam Provinsi DKI Jakarta dipilih sebagai lokasi studi. Berdasarkan analisis proyeksi perubahan curah hujan rata-rata bulanan khususnya pada bulan Desember (musim penghujan) merupakan hotspot lokasi yang akan mengalami peningkatan jumlah dan intensitas curah hujan (Gambar 1).



Gambar 1. Proyeksi perubahan curah hujan rata-rata bulanan (%) untuk Desember pada periode 2075-2099 dibandingkan terhadap curah hujan rata-rata bulan Desember pada periode 1979-2004; (a) DAS Batanghari dan (b) 13 DAS yang mengalir melalui Prov. DKI Jakarta.

DAS Batanghari lebih merepresentasikan kondisi DAS berukuran besar dengan dominasi tutupan lahan berupa hutan, perkebunan, dan pertanian. Terjadi konversi penggunaan lahan secara intensif dari tipe hutan menjadi perkebunan, serta pertanian menjadi pemukiman. Sementara DAS-DAS yang masuk ke DKI Jakarta mempunyai ukuran luas berkategori sedang dan kecil. Jenis tutupan lahan didominasi oleh pemukiman (kota), sawah, dan tegalan. Seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan aktivitas perekonomian, di wilayah 13 DAS tersebut terjadi intensifikasi konversi penggunaan lahan secara signifikan,

khususnya dari lahan pertanian menjadi pemukiman. Akibatnya, kedua lokasi terpilih mempunyai masalah yang relatif sama yaitu terjadinya peningkatan intensitas dan frekuensi bencana banjir meskipun keduanya mempunyai tipe dan karakteristik banjir yang berbeda.

Besarnya nilai risiko banjir akan menentukan besarnya level bencana dan tingkat kerugian yang terjadi. Formulasi nilai risiko banjir di dalam penelitian ini didasarkan pada persamaan di bawah ini (Tariq *et al*, 2013):

$$Flood Risk = \frac{Flood Hazard \times Exposure \times Susceptibility}{Control Measures} \quad (1)$$

Nilai risiko banjir sangat ditentukan oleh besarnya bahaya banjir itu sendiri (*flood hazard*); kondisi biofisik DAS yang direpresentasikan oleh faktor kerentanan (*vulnerability*), dan; upaya-upaya pengendalian banjir yang sudah ada (*control measures*). Dinamika perubahan nilai bahaya banjir dikuantifikasi berdasarkan perubahan dimensi banjir yang terdiri dari: debit aliran ( $q$ ), tinggi genangan banjir ( $h$ ); luas genangan ( $A$ ), dan; lama genangan ( $t$ ). Dimensi banjir sangat dipengaruhi oleh durasi dan intensitas curah hujan ekstrem yang terjadi dengan probabilitas kejadian  $P$ . Faktor kerentanan komponen biofisik DAS secara eksplisit dapat ditentukan berdasarkan komponen keterpaparan (*exposure*) dan komponen kerentanan (*susceptibility*), meskipun demikian keduanya dikuantifikasi secara implisit dalam studi ini. Jika unit nilai risiko banjir diberikan dalam bentuk nilai kerugian dengan nominal rupiah (Rp) maka Persamaan 1 dapat disederhanakan menjadi:

$$Flood Risk (Rp) = f(P(t, q, h, A), \theta) \quad (2)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Informasi spasial risiko banjir DAS Batanghari dan Provinsi DKI Jakarta dalam bentuk peta telah dibuat oleh BNPB bekerjasama dengan beberapa instansi terkait (Gambar 2). Dari Gambar 2 dapat disimpulkan bahwa kekurangan dari peta risiko banjir yang dibuat dan dipergunakan pada saat ini diantaranya: (1) Informasi yang diberikan bersifat kualitatif, yaitu dalam bentuk tingkat bahaya atau kerentanan yang dikategorikan kedalam rendah, sedang, dan tinggi; (2) Secara spasial resolusinya masih rendah, satuan wilayah administratif seperti

kabupaten atau kecamatan umumnya dijadikan sebagai satuan luasan terkecil dalam identifikasi risiko, dan (3) Faktor perubahan iklim belum dimasukkan sebagai peubah penting dalam proses pembuatan peta risiko banjir. Untuk mendetailkan peta yang sudah ada tersebut, maka konsep kuantifikasi risiko banjir dalam tulisan ini akan menghasilkan peta risiko banjir yang mempunyai resolusi spasial tinggi, dibuat berdasarkan mekanisme proses hidrologi dan rambatan banjir serta memasukan aspek perubahan iklim, dan informasi yang dihasilkan bersifat kuantitatif.

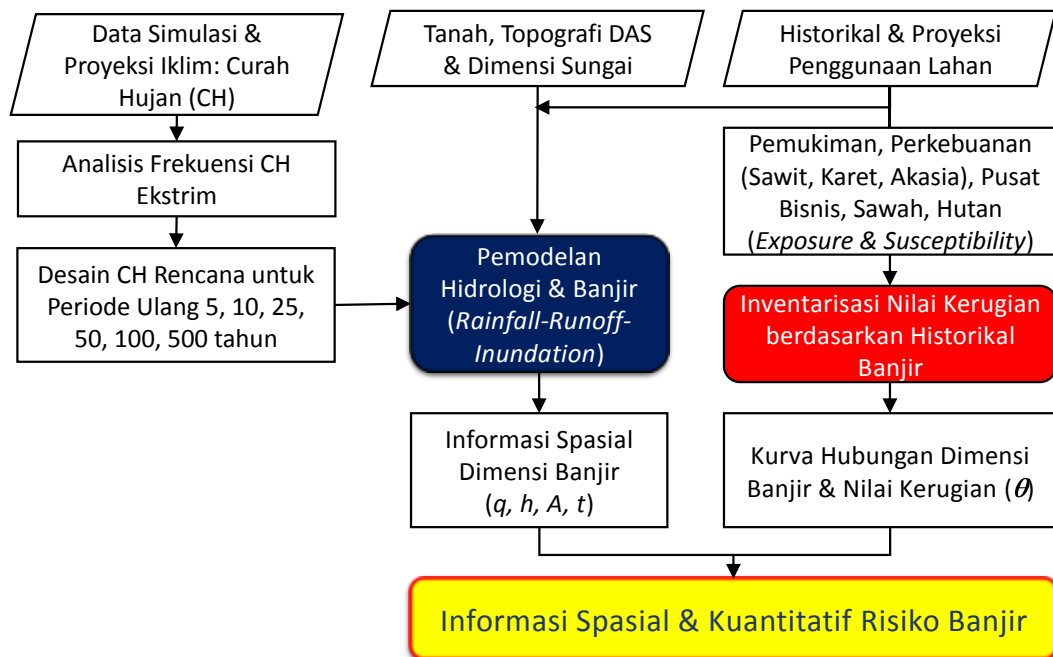


Gambar 2. Peta indeks risiko bencana banjir untuk DKI Jakarta (kiri) dan DAS Batanghari dalam wilayah Provinsi Jambi (kanan).

Gambar 3 menunjukkan konsep untuk kuantifikasi risiko banjir secara spasial untuk DAS terpilih. Pemodelan mekanisme proses terjadinya aliran permukaan dan rambatan banjir secara spasial yang terjadi di dalam DAS merupakan metode utama untuk kuantifikasi dimensi bahaya banjir seperti  $q$ ,  $h$ ,  $A$ , dan  $t$ . Model distribusi hujan-limpasan-inundasi (*rainfall-runoff-inundation model*) adalah salah satu tipe model hidrologi yang tepat untuk dipergunakan dalam perhitungan dimensi bahaya banjir (Sayama *et al.*, 2012). Satuan luasan terkecil di dalam DAS yang dapat dimodelkan tergantung pada resolusi spasial yang dipergunakan, yang disebut grid. Untuk kasus DAS besar seperti Batanghari akan dipergunakan resolusi grid 500 m - 1 km, sedangkan untuk 13 DAS yang ada di DKI Jakarta dapat menggunakan resolusi 10 m - 90 m. Selanjutnya, dinamika temporal dimensi bahaya banjir untuk setiap lokasi (grid) dikonversi ke dalam unit nilai kerugian (*damage costs*) berdasarkan kurva hubungan dimensi banjir

dan nilai kerugian yang dibuat berdasarkan data hasil inventarisasi nilai kerugian yang dihasilkan dari historikal bencana banjir yang pernah terjadi.

Selain memperhitungkan nilai keragaman dari sifat tanah dan topografi yang ada di dalam DAS, kuantifikasi masing-masing peubah dimensi banjir didasarkan pada: (1) input data probabilitas kejadian hujan ekstrim (Hosking & Wallis, 1997) dengan durasi  $t$ -hari serta periode ulang  $N$ -tahun, dan (2) tipe penggunaan lahan yang secara tidak langsung merepresentasikan pengaruh faktor antropogenik. Untuk melihat dampak perubahan iklim dan faktor antropogenik maka paling sedikit dua periode iklim (Apip, 2014) dan tipe penggunaan lahan berbeda, yaitu kondisi saat ini dan hasil proyeksi ke depan, dapat dipergunakan di dalam analisis.

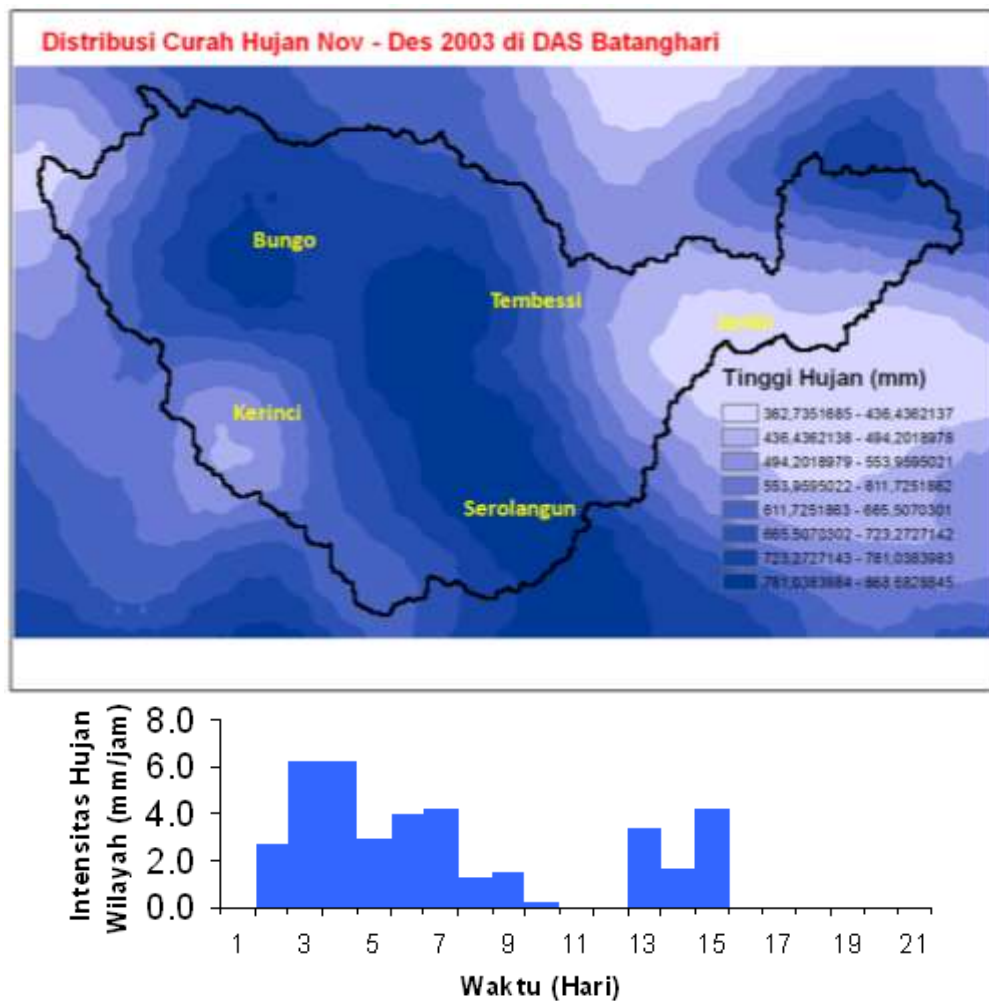


Gambar 3. Konsep (kerangka pikir) untuk kuantifikasi spasial risiko banjir skala DAS dalam skenario adanya dampak perubahan iklim global dan peningkatan tekanan faktor antropogenik.

Salah satu luaran dari penelitian ini adalah informasi spasio-temporal risiko banjir yang secara matematika diformulasikan sebagai fungsi dari beberapa komponen: debit aliran ( $q$ ), tinggi genangan air ( $h$ ), luas genangan ( $a$ ), durasi genangan ( $t$ ), dan nilai kerugian yang dikuantifikasi dalam bentuk *damage costs* ( $\theta$ ). Variabel  $q$ ,  $h$ ,  $A$ , dan  $t$  adalah tiga variabel yang secara alami (karena faktor

curah hujan ekstrim) mempengaruhi besarnya *flood hazard*. Selanjutnya, besarnya  $\theta$  sangat dipengaruhi oleh tingginya bahaya banjir serta kondisi tingkat kerentanan dan ketahanan dari kondisi biofisik yang ada di dalam DAS, khususnya kondisi masyarakat dan fasilitas infrastruktur pengendali banjir (*exposure & vulnerability components*).

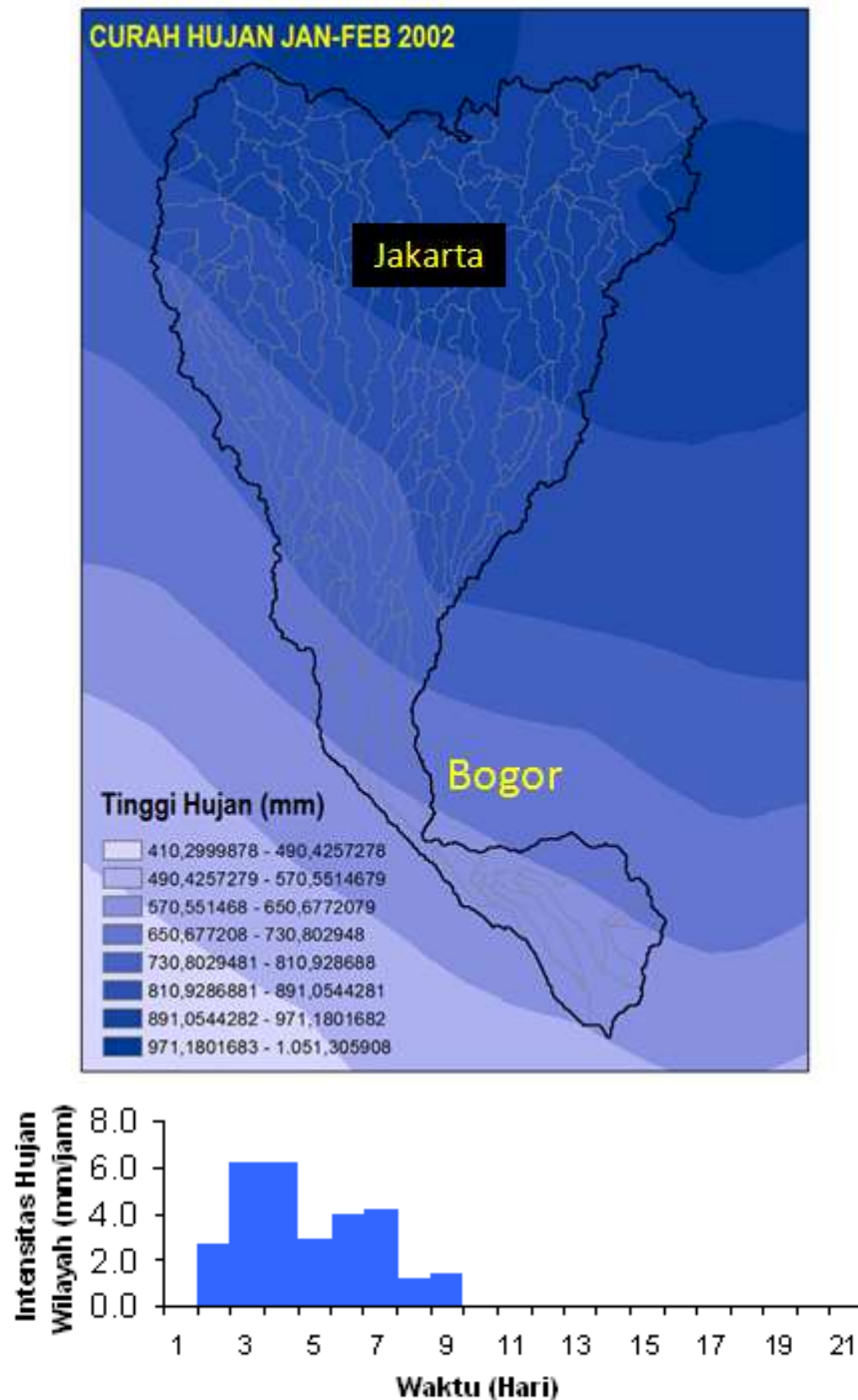
Sebagai contoh, pembuatan distribusi spasial *flood hazard* pada kondisi iklim sekarang telah dibuat untuk kedua lokasi terpilih. Kriteria hujan ekstrim dibuat berdasarkan data curah hujan yang menyebabkan banjir besar. Kejadian banjir Februari 2002 di Jakarta dan kejadian banjir Desember 2003 di DAS Batanghari dipilih sebagai dasar dalam pemilihan kategori curah hujan ekstrim. Informasi spasial dan temporal curah hujan ekstrim di kedua lokasi dapat dilihat pada Gambar 4 & 5.



Gambar 4. (a) Distribusi akumulasi tinggi curah hujan November-Desember 2003 di DAS Batanghari (gambar atas) dan (b) Rancangan curah hujan



ekstrim rata-rata wilayah DAS Batanghari yang dibuat berdasarkan curah hujan pada waktu kejadian banjir Desember 2003 (gambar bawah).

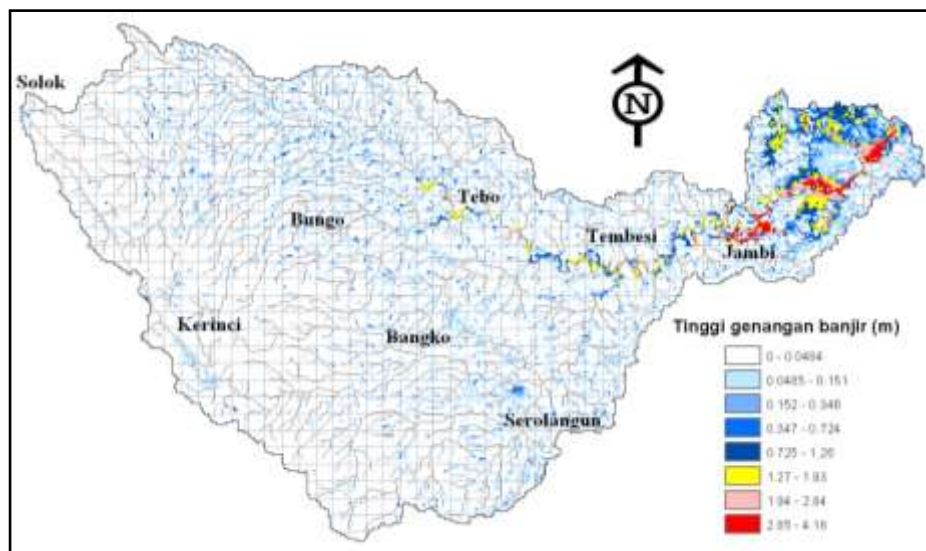


Gambar 5. (a) Distribusi akumulasi tinggi curah hujan Januari-Februari 2002 di Wilayah Jakarta dan sekitarnya (gambar atas) dan (b) Rancangan curah hujan ekstrim rata-rata wilayah di 13 DAS yang melalui Prov. DKI Jakarta yang dibuat berdasarkan curah hujan pada waktu kejadian banjir Januari 2002 (gambar bawah).

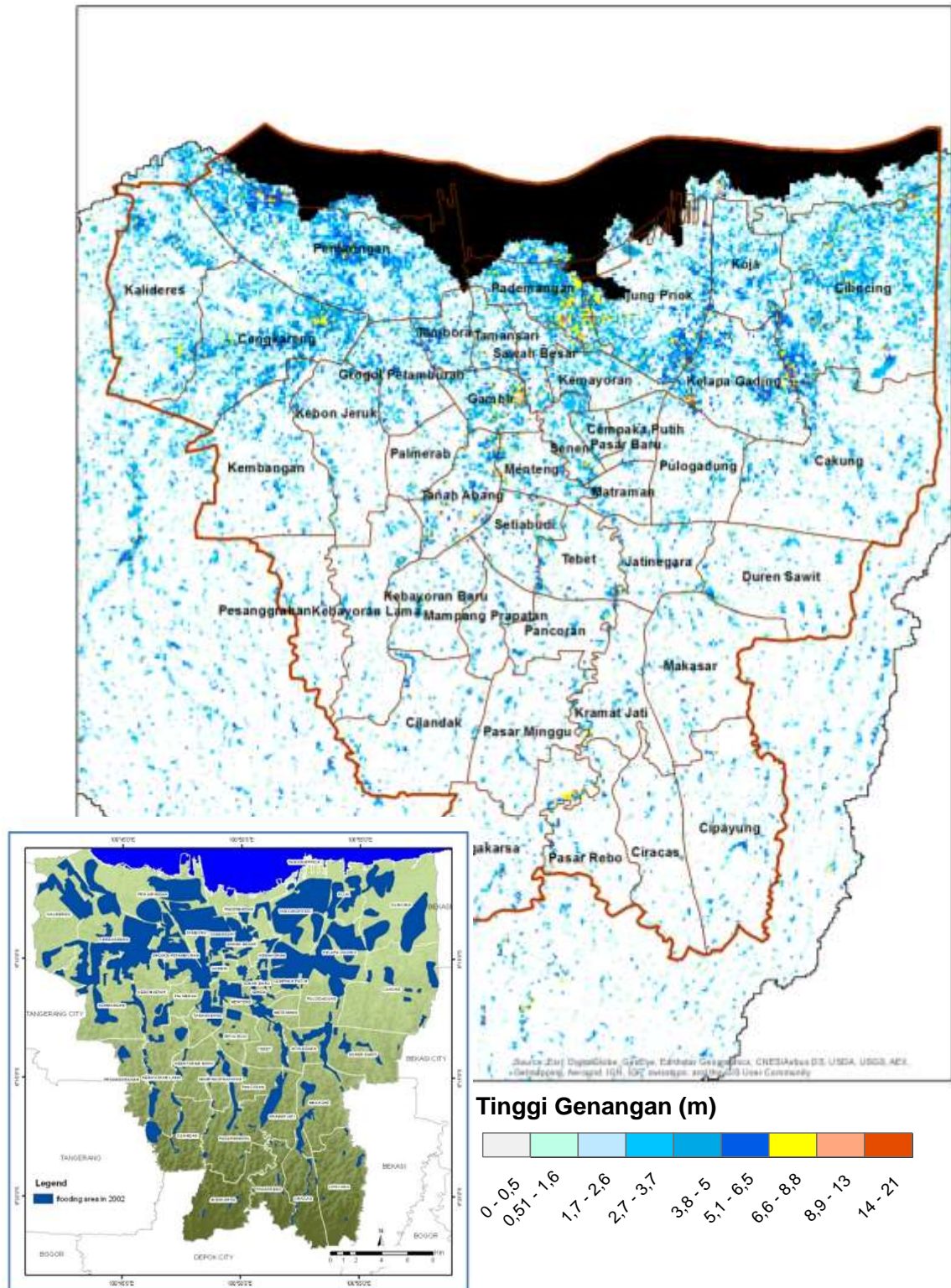


Selanjutnya dengan menggunakan model distribusi hujan-limpasan-inundasi yang sudah terkalibrasi, informasi spasial komponen bahaya banjir dalam unit  $h$  dapat dilihat pada Gambar 6 & 7. Hasil simulasi awal bahaya banjir di kedua lokasi studi menunjukkan informasi spasial yang cukup baik. Untuk DAS Batanghari, rambatan banjir secara umum melalui seluruh daerah yang telah dikategorikan ke dalam wilayah rawan banjir dengan kategori sedang-tinggi. Wilayah tersebut menyebar mulai bagian tengah sampai dengan bagian hilir DAS. Begitu juga untuk Jakarta, propagasi dimensi bahaya banjir melalui lokasi-lokasi yang biasa terkena banjir, yaitu bagian hilir DAS khususnya wilayah Jakarta Utara, Jakarta Barat, dan Jakarta Pusat.

Kurva hubungan dimensi banjir khususnya  $h$  dengan nilai kerugian yang mungkin terjadi untuk berbagai tipe penggunaan lahan atau sektor selanjutnya dipergunakan untuk menghasilkan informasi spasial risiko banjir dengan unit nilai kerugian, misalnya dalam nominal rupiah. Informasi yang lebih detail dan bersifat kuantitatif ini diharapkan dapat membantu pihak pengguna khususnya BNPB dalam mendetailkan informasi peta risiko banjir yang sudah dibuat sebelumnya.



Gambar 6. Informasi spasial bahaya banjir yang dibuat berdasarkan distribusi genangan dan tinggi air hasil simulasi kejadian puncak banjir di DAS Batanghari, yang terjadi pada bulan Desember 2003.



Gambar 7. Informasi spasial bahaya banjir yang dibuat berdasarkan distribusi genangan dan tinggi air hasil simulasi kejadian puncak banjir Jakarta pada bulan Februari 2002. Informasi spasial pola genangan tersebut dapat dibandingkan dengan pola genangan yang terjadi (*observed*; gambar kiri bawah).

## KESIMPULAN

Konsep formulasi spasial risiko banjir dengan memasukan aspek perubahan iklim dan faktor antropogenik telah dibuat dan diaplikasikan di DAS Batanghari dan 13 DAS yang mengalir melalui Kota Jakarta. Pemodelan spasial hidrologi dan rambatan banjir yang didasarkan pada mekanisme proses (*process-based modeling system*) dipergunakan sebagai metode utama dalam kuantifikasi dimensi banjir ( $q, h, A, t$ ). Kurva hubungan dimensi banjir dan nilai kerugian yang dibuat berdasarkan data hasil inventarisasi nilai kerugian yang dihasilkan dari historikal bencana banjir yang pernah terjadi. Selanjutnya kurva tersebut dipergunakan untuk konversi unit dimensi bahaya banjir di setiap lokasi (*square grid*) dan tipe penggunaan lahan ke dalam unit nilai kerugian (*damage costs*).

Untuk melihat dampak perubahan iklim dan faktor antropogenik maka paling sedikit dua periode iklim dan tipe penggunaan lahan berbeda, yaitu kondisi saat ini dan hasil proyeksi ke depan, dapat dipergunakan di dalam analisis.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Konsep kuantifikasi spasial risiko banjir yang ada di dalam tulisan ini merupakan bagian dari hasil Program Penelitian Unggulan LIPI, Sub-Program IV, yang berjudul “**Evaluasi dan Proyeksi Dampak Perubahan Iklim terhadap Risiko Banjir dengan Presisi Tinggi untuk Penyusunan Konsep Mitigasi Bencana Banjir**” yang dibiayai dengan menggunakan dana APBN LIPI tahun anggaran 2015-2016. Penulis mengucapkan terima kasih kepada anggota tim (Dr. Iwan Ridwansyah, Meti Yulianti, M.Sc, dan Dini Daruati, M.Si) yang telah membantu dalam penyiapan beberapa data tabular dan spasial yang dipergunakan di dalam pemodelan banjir.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Apip. 2014. “20-km, 1-jam MRI-AGCM3.x” Model Iklim dengan Resolusi Tinggi: Potensi Aplikasinya untuk Proyeksi Dampak Perubahan Iklim terhadap Cuaca Ekstrem dan Kondisi Perairan Darat di Indonesia. *Warta Limnologi*. No:52/Tahun XXVII, Juni 2014, Hal. 9-14.
- Hosking JRM and Wallis JR. 1997. *Regional Frequency Analysis: An Approach based on L-Moments*. Cambridge University Press, Cambridge. 224 pp.
- Tariq MAUR, Hoes OAC and Van de Giesen NC. 2013. Development of a Risk-based Framework to Integrate Flood Insurance. *Journal of Flood Risk Management*, Vol. 7, pp. 291-307.
- Sayama T, Ozawa G, Kawakami T, Nabesaka S and Fukami K. (2012). Rainfall-Runoff-Inundation Analysis of Pakistan Flood 2010 at the Kabul River Basin. *Hydrological Sciences Journal*, 57(2), pp. 298-312.