

## Tema 4 & 5: Ekohidrologi dan Mitigasi Bencana Perairan Darat & Aspek Sosial dan Budaya Dalam Penyehatan Perairan Darat

### ANALISIS VARIABILITAS IKLIM PADA DAERAH ALIRAN SUNGAI KAPUAS BAGIAN HULU DAN TENGAH DENGAN DATA SATELIT TRMM DAN MODEL KONSEPTUAL

Hidayat  
Pusat Penelitian Limnologi-LIPI  
hidayat@limnologi.lipi.go.id

#### ABSTRAK

Curah hujan pada wilayah Indonesia dipengaruhi oleh telekoneksi iklim yang diasosiasikan dengan fenomena sirkulasi atmosfer-samudera yang dikenal dengan *El-Nino and Southern Oscillation (ENSO)* dengan intensitas yang berbeda pada tiap wilayah. Fenomena ENSO sering dikaitkan dengan kondisi hidrologis Daerah Aliran Sungai (DAS) antara lain kekeringan ekstrim dan kejadian banjir. Model hujan-limpasan telah banyak digunakan dalam studi hidrologi antara lain untuk mempelajari neraca air DAS, prediksi debit aliran, dan prediksi pengaruh perubahan iklim dan perubahan penggunaan lahan terhadap debit sungai. Penelitian ini bertujuan untuk mengungkap pengaruh variabilitas iklim terhadap curah hujan dan rejim aliran Sungai Kapuas (Kalimantan Barat). Simulasi debit aliran sungai dilakukan dengan menggunakan model konseptual HBV (*Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning*) dengan masukan estimasi curah hujan dari satelit *Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)* dengan resolusi spasial  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ . Kalibrasi model dilakukan dengan metode Monte Carlo menggunakan data debit dari stasiun pengukuran di Sanggau. Evaluasi model dilakukan dengan nilai koefisien efisiensi Nash-Sutcliffe (NSE). Dua indeks yang berkaitan dengan ENSO digunakan dalam studi ini yaitu *Southern Oscillation Index (SOI)* dan *Multivariate ENSO Index (MEI)*. Analisis curah hujan dari data TRMM menunjukkan bahwa secara umum korelasi dengan indeks ENSO yang relatif tinggi ditemui pada musim kemarau. Kalibrasi model HBV menghasilkan serangkaian parameter dengan keluaran model yang cukup baik dengan  $NSE > 0.8$ . Hasil simulasi debit dari set parameter terbaik menunjukkan bahwa model HBV dengan masukan data TRMM dapat digunakan untuk mempelajari tren dan anomali musiman seperti pengaruh ENSO terhadap rejim aliran Sungai Kapuas.

**Kata kunci:** Variabilitas iklim, model hidrologi, TRMM, DAS Kapuas, ENSO.

#### PENDAHULUAN

Curah hujan pada sebagian wilayah Indonesia dipengaruhi oleh telekoneksi iklim yang diasosiasikan dengan fenomena sirkulasi atmosfer-samudera yang dikenal dengan *El-Nino and Southern Oscillation (ENSO)* dengan intensitas yang berbeda pada tiap wilayah. Fenomena ENSO sering dikaitkan dengan kondisi hidrologis Daerah Aliran Sungai (DAS) antara lain kekeringan ekstrim dan kejadian banjir.

Data dari satelit penginderaan jauh saat ini memberi alternatif solusi dalam mengisi kekurangan data terutama di daerah tropis yang pada umumnya ketersediaan datanya terbatas. Radar satelit memiliki potensi besar untuk menghasilkan data iklim, antara lain curah hujan, dengan cakupan area yang luas. Produk estimasi curah hujan dari satelit *Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)* dengan resolusi spasial  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$  yang meliputi area diantara garis lintang  $50^{\circ}$  Utara dan Selatan telah tersedia sejak diluncurkannya satelit tersebut pada tahun 1997 (Huffman, 2007). Data TRMM merupakan sumber data alternatif yang sangat berguna dalam studi hidrologi termasuk sebagai data masukan untuk model (Villarini, 2007; Su, 2008).

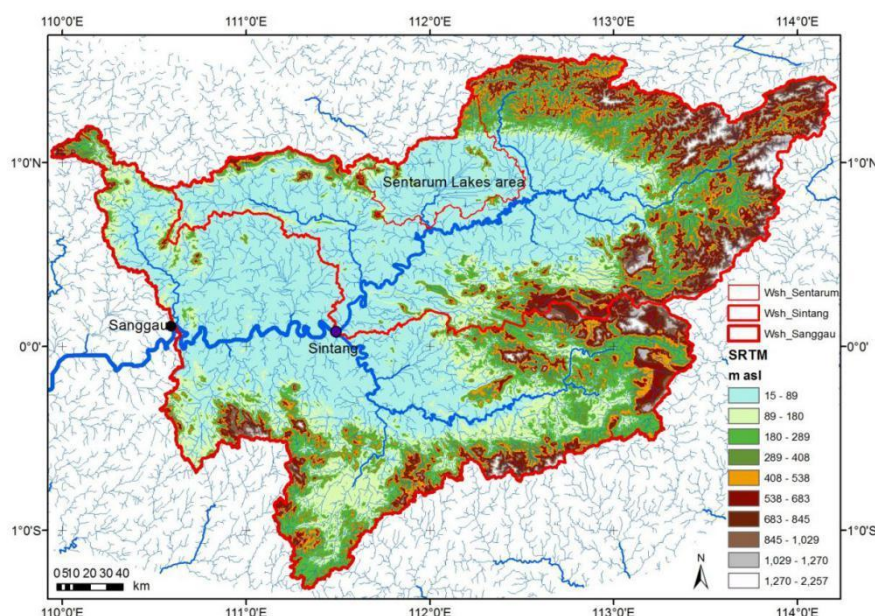
Model hujan-limpasan telah banyak digunakan dalam studi hidrologi antara lain untuk mempelajari neraca air Daerah Aliran Sungai (DAS), prediksi debit aliran, dan prediksi pengaruh perubahan iklim dan perubahan penggunaan lahan terhadap debit sungai (Wagener, 2004; Seibert, 2009; Beven, 2012). Pada dekade lalu, pendekatan pemodelan berdasarkan teori dan data telah berkembang di bawah inisiatif dari *International Association of Hydrological Sciences* berupa inisiatif Prediksi di DAS yang miskin data pengukuran '*Prediction in Ungauged Basins*' (Sivapalan, 2003). Berbagai struktur dan pendekatan model telah banyak digunakan tergantung pada tujuan dibuatnya model. Salah satu diantara model-model hidrologi adalah model HBV (*Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning*) yang sesuai untuk studi neraca air dan prediksi di *Ungauged*

*Basins* (Bergstrom, 1995). HBV merupakan model konseptual yang mensimulasikan debit dengan masukan data hujan, suhu dan evaporasi potensial (Seibert, 1997).

Penelitian ini bertujuan untuk mengungkap pengaruh variabilitas iklim terhadap curah hujan dan rejim aliran Sungai Kapuas, Kalimantan Barat. Dalam penelitian ini digunakan data TRMM dan model HBV untuk pemodelan hujan-limpasan dan indeks ENSO untuk mengkaji keterkaitannya dengan variabilitas iklim di DAS Kapuas.

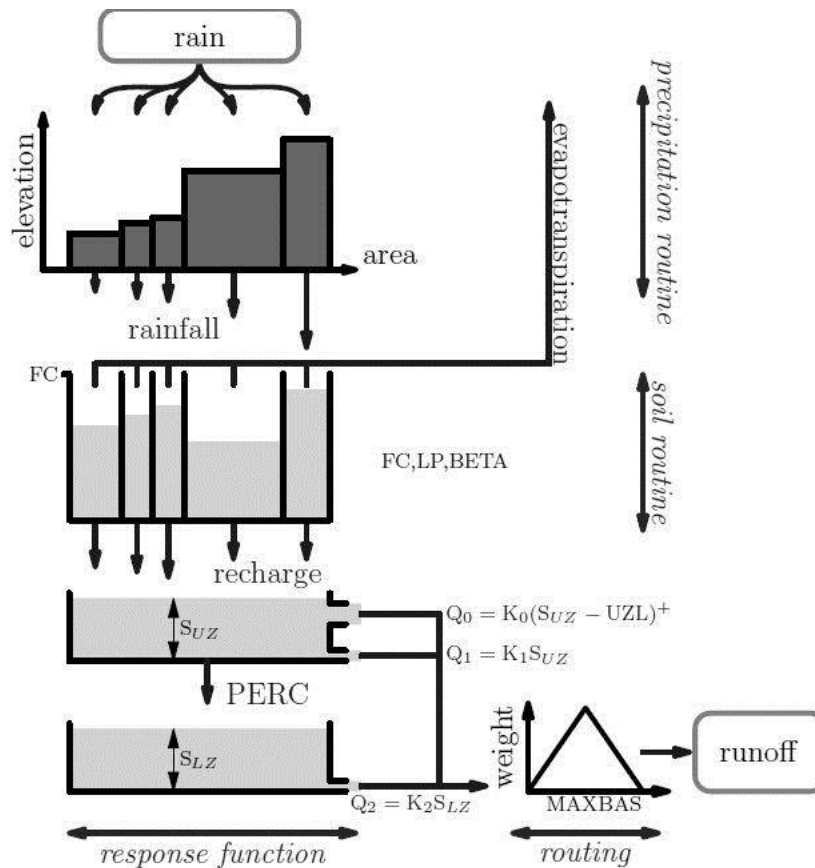
## METODE PENELITIAN

Data TRMM diperoleh dari situs internet *Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center Interactive Online Visualization and Analysis Infrastructure* (Giovanni). Delineasi DAS dilakukan dengan menggunakan *digital elevation model* (DEM) dari data *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), dengan resolusi spasial 90m. Delineasi DAS dilakukan sampai daerah Sanggau pada segmen Kapuas bagian tengah (Gambar 1) untuk menyesuaikan dengan stasiun pengukuran debit. Dua indeks yang berkaitan dengan *El-Nino and Southern Oscillation* (ENSO) digunakan dalam studi ini yaitu *Southern Oscillation Index* (SOI) dan *Multivariate ENSO Index* (MEI). SOI dihitung dari fluktuasi perbedaan tekanan udara antara Tahiti dan Darwin, sementara MEI dihitung dari enam variabel di wilayah Pasifik tropis termasuk tekanan udara, angin, suhu, dan fraksi awan. Kedua seri data tersebut diperoleh dari website *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Data debit diperoleh dari pengukuran debit di Sanggau pada tahun 2013-2015 (Hidayat, 2017).



**Gambar 1.** Delineasi DAS Kapuas hingga daerah Sanggau dengan menggunakan model elevasi digital SRTM.

Model HBV yang digunakan adalah versi HBV *Light* (Seibert, 2010) secara *lump* (Gambar 2), yakni semua nilai yang digunakan adalah nilai rata-rata DAS. Parameter-parameter model HBV memiliki interpretasi fisik, tetapi karena merepresentasikan nilai efektif dalam skala DAS, parameter-parameter tersebut tidak dapat diukur dan perlu dikalibrasi. Parameter model yang dikalibrasi yaitu 1) simpanan kelembaban tanah maksimum (FC), 2) nilai ambang reduksi evaporasi (LP), 3) koefisien bentuk (BETA), 4) koefisien resesi simpanan atas dan bawah ( $K_0$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ ), 5) nilai ambang  $K_0$  pada simpanan atas untuk menjadi  $K_1$  (UZL), 6) perkolasi maksimum (PERC), dan 7) parameter *routing* (MAXBAS). Kalibrasi model dilakukan dengan metode Monte Carlo menggunakan data debit harian dari stasiun pengukuran di Sanggau yang dibagi ke dalam periode kalibrasi dan validasi. Simulasi model dilakukan dengan masukan estimasi curah hujan harian dari satelit *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) sebagai rata-rata DAS dari data grid dengan resolusi spasial  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ . Evaluasi model dilakukan dengan nilai koefisien efisiensi Nash-Sutcliffe (NSE). Dua indeks yang berkaitan dengan ENSO digunakan dalam studi ini yaitu *Southern Oscillation Index* (SOI) dan *Multivariate ENSO Index* (MEI).

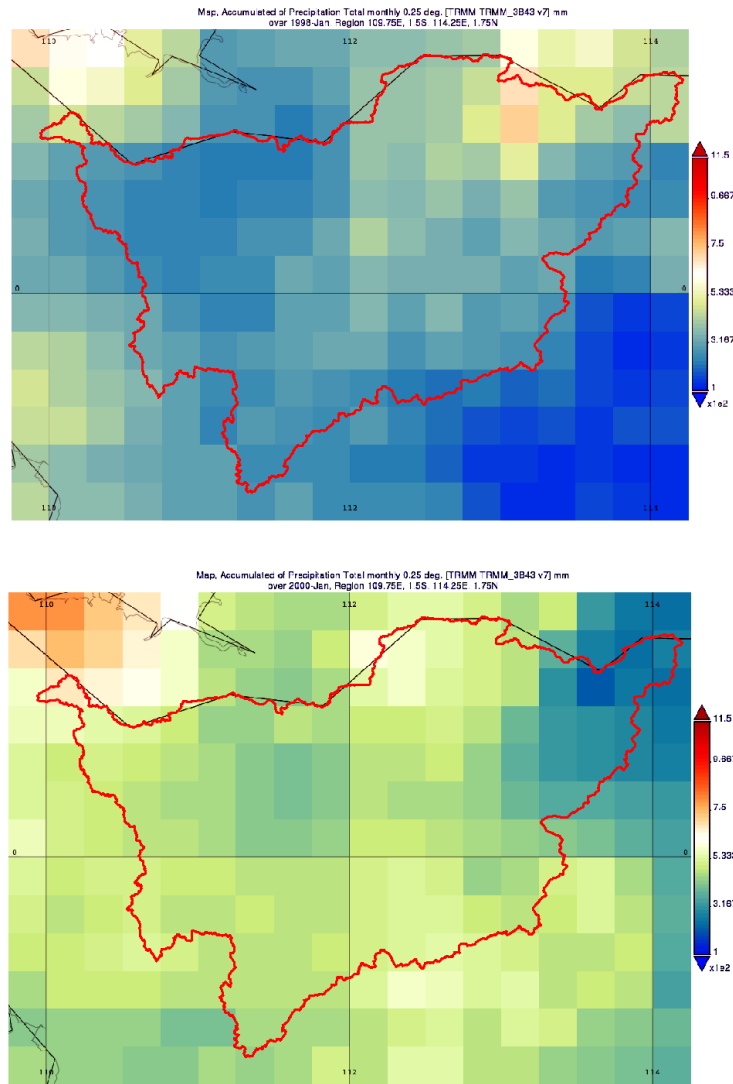


Gambar 2. Skema model HBV Light (diadaptasi dari Driessen, 2010).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

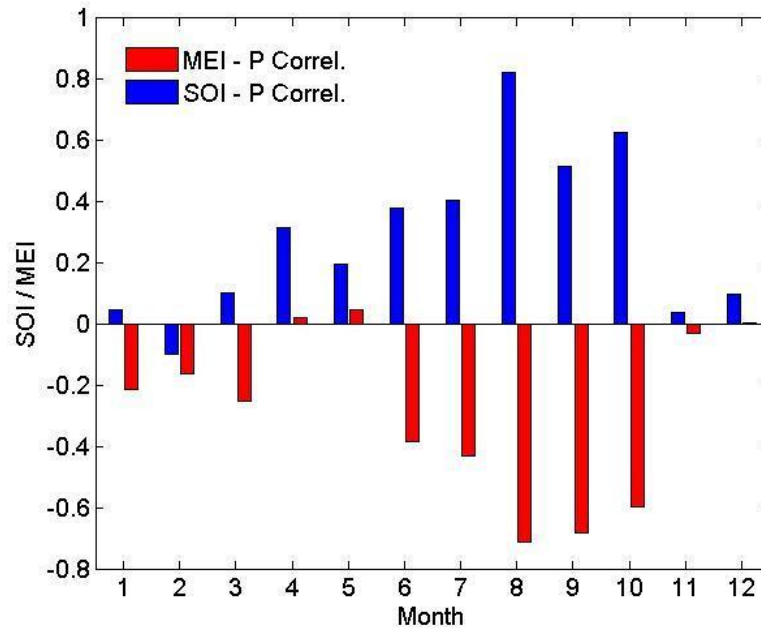
### Analisis data TRMM

Dua produk estimasi curah hujan dari satelit TRMM digunakan dalam studi ini yaitu produk *TRMM Multisatellite Precipitation Analysis* (TMPA) versi 7 skala harian (3B42 *daily*) dan bulanan (3B43 *monthly*). Secara umum curah hujan yang tinggi di DAS Kapuas terjadi pada daerah hulu di pegunungan, sementara dataran rendah memiliki curah hujan yang lebih rendah. Gambar 3 menunjukkan distribusi spasial curah hujan di DAS Kapuas pada tahun 1998 (periode *El-Nino*) dengan curah hujan yang rendah dan 2000 (periode *La-Nina*) dengan curah hujan yang relatif lebih tinggi.



**Gambar 3.** Curah Hujan di DAS Kapuas pada Tahun-tahun 1998 (atas; periode *El-Nino*) 2000 (bawah; periode *La-Nina*). Garis Merah Menunjukkan Batas DAS Kapuas hingga Stasiun Pengukuran Debit di Daerah Sanggau.

Secara umum, pola curah hujan di Kalimantan dipengaruhi oleh ENSO, akan tetapi tingkat pengaruh ini bergantung lokasi dan waktu. Berdasarkan lokasi, tingkat pengaruh ENSO di DAS Kapuas lebih rendah dibandingkan dengan DAS Mahakam (Hidayat, 2017). Analisis curah hujan dari data TRMM menunjukkan secara umum korelasi dengan indeks ENSO relatif tinggi pada periode kering seperti pada bulan Agustus-Oktober, sedangkan pada basah seperti pada bulan November-Desember korelasinya rendah (Gambar 4).

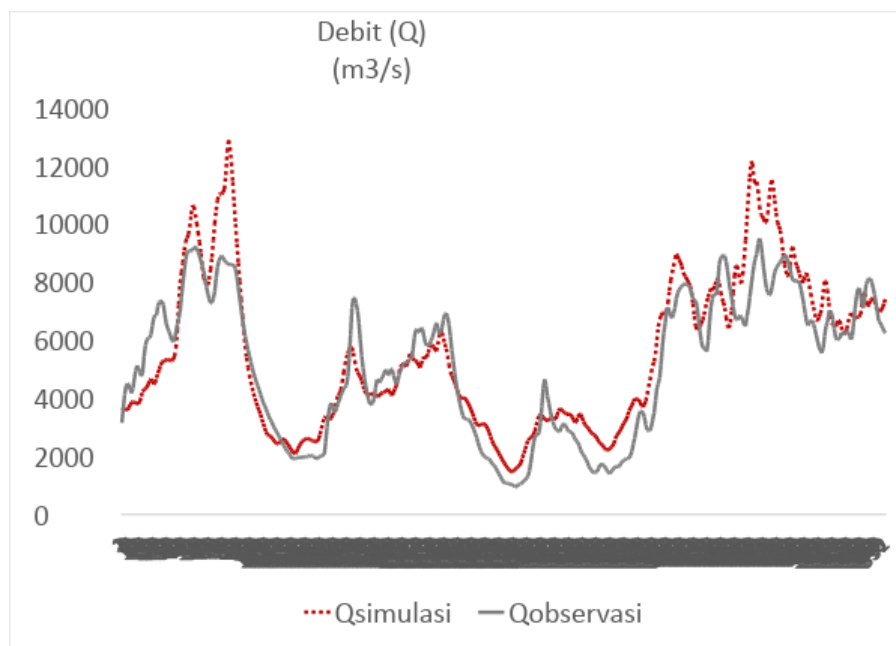


**Gambar 4.** Korelasi Curah Hujan (P) di DAS Kapuas dengan Indeks ENSO.

#### Hasil Simulasi Debit dengan Model HBV

Gambar 5 menunjukkan output model yang merupakan ensambel dari simulasi dengan 10 set parameter terbaik hasil kalibrasi model HBV. Evaluasi unjuk kerja model dengan koefisien NSE menunjukkan bahwa model mensimulasikan debit Sungai Kapuas di Sanggau dengan cukup baik dengan  $NSE > 0.8$  baik pada periode kalibrasi maupun pada periode validasi.

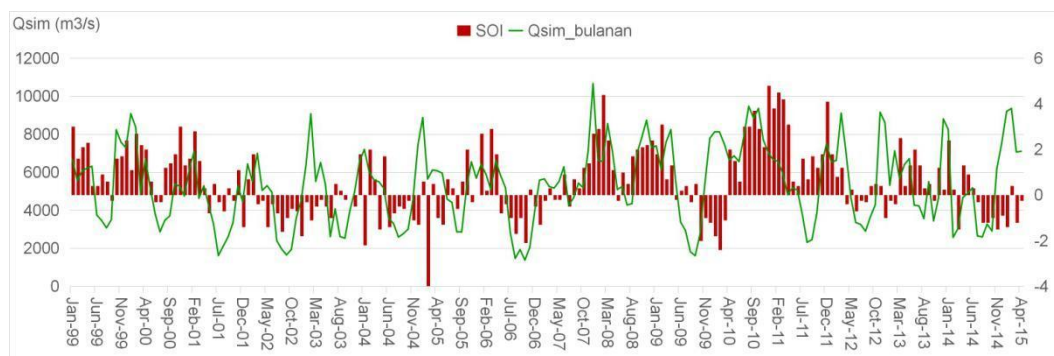
Secara umum, pola debit hasil simulasi sejalan dengan debit hasil pengukuran. Meskipun demikian, keluaran model masih memperlihatkan estimasi lebih pada kondisi debit puncak dan estimasi kurang sekaligus estimasi lebih pada kondisi debit rendah. Hal ini memperlihatkan efek peredaman debit ekstrim oleh sistem danau-danau paparan banjir di bagian hulu, antara lain kompleks Danau Sentarum, yang tidak direpresentasikan pada model HBV ini.



**Gambar 5.** Perbandingan debit harian hasil simulasi dengan hasil pengukuran di Sanggau pada periode 23 Oktober 2013 sd 27 April 2015.

### Evaluasi Model dan Hasil Simulasi Diluar Periode Kalibrasi

Simulasi debit diluar periode kalibrasi dilakukan dengan menggunakan set parameter terbaik berdasarkan kriteria koefisien NSE. Debit hasil simulasi pada periode 1999 sampai dengan 2015 berkorelasi positif dengan indeks SOI ( $r = 0.36$ ). Pada periode tertentu tren debit sejalan dengan tren SOI tetapi tidak pada periode lain. Hanya sebagian debit aliran rendah ekstrim yang dapat dikaitkan dengan fase hangat ENSO seperti pada tahun 2002, 2006, dan 2014. Demikian pula beberapa kondisi debit puncak berkaitan dengan fase dingin ENSO seperti tahun 2000, 2008, dan 2010 (Gambar 6).



**Gambar 6.** Hubungan Indeks SOI dengan Debit Bulanan Hasil Simulasi Model HBV S. Kapuas di Sanggau.

### KESIMPULAN

Curah hujan di DAS Kapuas berkorelasi positif dengan SOI dan berkorelasi negatif dengan MEI. Studi ini mengkonfirmasi bahwa estimasi curah hujan dari satelit TRMM memiliki nilai tambah untuk evaluasi parameter hidrologis pada DAS dengan skala menengah (meso-scale). Model HBV dengan masukan data TRMM dapat digunakan untuk mempelajari tren dan anomali musiman seperti pengaruh ENSO terhadap rejim aliran Sungai Kapuas. Pada studi ini ditemukan bahwa hanya sebagian kondisi aliran ekstrim di DAS Kapuas bagian hulu dan tengah yang berasosiasi dengan ENSO. Koefisien korelasi debit rata-rata bulanan dengan SOI ( $r$ ) sebesar 0.36.

### DAFTAR PUSTAKA

- Beven, K.J. (2012), *Rainfall-runoff modelling: the primer*, 2<sup>nd</sup> ed., John Wiley & Sons, Chichester, England.
- Driessen, T. L.A., R.T. W.L. Hurkmans, W. Terink, P. Hazenberg, P.J. J.F. Torfs, and R. Uijlenhoet (2010), The hydrological response of the Ourthe catchment to climate change as modelled by the HBV model, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14, 651–665.
- Hidayat, H., A.J. Teuling, B. Vermeulen, M. Taufik, K. Kastner, T.J. Geertsema, D.C.C. Bol, D.H. Hoekman, G.S. Haryani, H.A.J. Van Lanen, R.M. Delinon, R. Dijkema, G.Z. Anshari, N.S. Ningsih, R. Uijlenhoet, and A.J.F. Hoitink (2017). Hydrology of inland tropical lowlands: the Kapuas and Mahakam wetlands. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21, 2579–2594, 2017.
- Huffman, G.J., R.F. Adler, D.T. Bolvin, G. Gu, E.J. Nelkin, K.P. Bowman, Y. Yong, E.F. Stocker, and D.B. Wolff (2007), The TRMM multi-satellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multi-year, combined-sensor precipitation at fine scales, *J. Hydrometeor.*, 8(1), 38–55
- Seibert, J., S. Uhlenbrook, C. Leibundgut, and S. Halldin (2000), Multiscale calibration and validation of a conceptual rainfall-runoff model, *Phys. Chem. Earth*, 25(1), 59–64.
- Sivapalan, M., K. Takeuchi, S.W. Franks, V.K. Gupta, H. Karambiri, V. Lakshmi, X. Liang, J.J. McDonnell, E.M. Mendiondo, P.E. O'connell, T. Oki, J.W. Pomeroy, D. Schertzer, S. Uhlenbrook, and E. Zehe (2003), IAHS decade on predictions in ungauged basins (PUB), 2003-2012: Shaping an exciting future for the hydrological sciences, *Hydrol. Sci. J.*, 48(6), 857–880.
- Su, F., Y. Hong, and D.P. Lettenmaier (2007), Evaluation of TRMM multiscale precipitation analysis (TMPA) and its utility in hydrologic prediction in the La Plata basin, *J. Hydrometeor.*, 9, 622–640.
- Ventura, F., D.Spano, P. Duce, and R.L. Snyder (1999), An evaluation of common evapotranspiration equations, *Irrig. Sci.*, 18, 163–170.

- Villarini, G., and W.F. Krajewski (2007), Evaluation of the research version TMPA three-hourly 0.25 degree x0.25 degree rainfall estimates over Oklahoma, *Geophys. Res. Lett.*, 34, 1--5, doi 10.1029/2006GL029147.
- Wagener, T., H.S. Wheater, and H.V. Gupta (2004), *Rainfall-runoff modelling in gauged and ungauged catchments*, 306 pp., Imperial College Press, London.