

UPer-RRM Versi 0.0.1: Model Hujan-Limpasan Berbasis Python

Nurul Fajar Januriyadi^{1*}

¹Universitas Pertamina, Jakarta Selatan, 12220, Indonesia

*Corresponding author: nurul.fj@universitaspertamina.ac.id

Received: 10 Oktober 2024

Accepted: 12 December 2024

Abstrak

Model hujan-limpasan merupakan komponen penting dalam perencanaan infrastruktur sumber daya air. Model yang akurat dapat meningkatkan efektivitas perencanaan dan pengelolaan sumber daya air. Penelitian ini mengembangkan model hujan-limpasan berbasis komputasi menggunakan bahasa pemrograman Python. Model UPer-RRM, sebagai model semi-terdistribusi, membagi daerah aliran sungai (DAS) menjadi sub-DAS yang lebih kecil. Setiap sub-DAS dianalisis menggunakan model konseptual hujan-limpasan *tank model*, sementara proses aliran air di sungai dimodelkan menggunakan metode *kinematic wave*. Program Python yang dikembangkan mencakup tahapan *preprocessing*, *processing*, dan *postprocessing*. Harapannya, hasil penelitian ini dapat dijadikan alat untuk mempermudah analisis hidrologi dalam perencanaan infrastruktur air.

Kata kunci: model hujan-limpasan, Python, semi-terdistribusi, UPer-RRM

Abstract

The rainfall-runoff model is a crucial component in water resource infrastructure planning. An accurate model can enhance the effectiveness of water resource planning and management. This study develops a computational-based rainfall-runoff model using the Python programming language. The UPer-RRM model, as a semi-distributed model, divides the watershed (DAS) into smaller sub-watersheds. Each sub-watershed is analyzed using a conceptual rainfall-runoff tank model, while river flow processes are modeled using the kinematic wave method. The Python program developed includes preprocessing, processing, and post-processing stages. It is expected that the results of this research can serve as a tool to facilitate hydrological analysis in water infrastructure planning.

Keywords: rainfall-runoff model, Python, semi-distributed, UPer-RRM

PENDAHULUAN

Perubahan iklim, pertumbuhan penduduk dan urbanisasi meningkatkan kompleksitas dalam pengelolaan sumber daya air (Praskievicz & Chang, 2009; Roudier et al., 2014; Teshager et al., 2016; Yan & Edwards, 2013). Dalam menghadapi tantangan ini, perencanaan infrastruktur yang efektif memerlukan pendekatan berbasis data dan pemodelan yang handal. Salah satu komponen penting dalam perencanaan ini adalah model hujan-limpasan, yang berfungsi untuk memahami respons terhadap hujan dalam suatu wilayah (Ali et al., 2024; Birkel & Barahona, 2019). Model ini menjadi dasar dalam merancang berbagai infrastruktur air, seperti pemanfaatan sumber daya air, sistem pengendalian banjir, serta perencanaan konservasi sumber daya air.

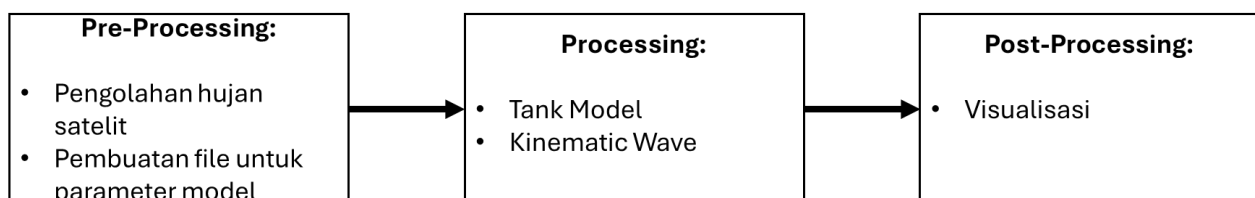
Model hujan-limpasan terbagi dalam tiga kategori utama, yaitu model *lumped*, model *distributed*, dan model *semi-distributed* (Chow, 2010). Model *lumped* mengasumsikan bahwa karakteristik hidrologi suatu daerah bersifat homogen, sehingga

lebih sederhana tetapi kurang akurat untuk wilayah dengan variabilitas spasial yang tinggi. Model *distributed*, di sisi lain, memperhitungkan variasi spasial secara rinci, tetapi memerlukan data yang sangat lengkap dan komputasi yang intensif. Sebagai kompromi antara keduanya, model *semi-distributed* membagi daerah aliran sungai (DAS) menjadi sub-DAS lebih kecil untuk menangkap variasi spasial, sambil tetap menjaga efisiensi komputasi.

Dalam beberapa tahun terakhir, kemajuan teknologi pemrograman dan komputasi memungkinkan pengembangan perangkat lunak yang lebih terintegrasi untuk analisis hidrologi. Python, dengan ekosistem pustaka yang kaya dan kemampuan analisis data serta visualisasinya, menjadi pilihan ideal untuk membangun model hujan-limpasan. Penelitian ini mengembangkan model hujan-limpasan UPer-RRM (Universitas Pertamina Rainfall-Runoff Model) berbasis Python yang mengintegrasikan tahapan *preprocessing*, *processing*, dan *postprocessing* dalam satu platform

yang efisien. Model ini adalah model semi-terdistribusi yang menggunakan pendekatan konseptual untuk simulasi hujan-limpasan di setiap sub-DAS dan metode kinematic wave untuk routing aliran.

Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat alat yang lebih efisien dan akurat untuk analisis hidrologi, khususnya di DAS dengan berbagai karakteristik. Dengan model berbasis Python, penelitian ini ingin menjembatani kebutuhan analisis hidrologi yang mendetail dengan kemampuan teknis pengguna dalam teknologi pemodelan modern. Hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu perencanaan dan pengelolaan sumber daya air yang lebih baik, terutama di daerah yang rawan banjir dan kekeringan.



Gambar 1. Struktur umum program UPer-RRM

Persamaan Pengatur

Seperti dijelaskan sebelumnya, pemodelan hujan-limpasan menggunakan *Tank Model* untuk hujan-limpasan di lahan atau sub-DAS dan Kinematic Wave untuk aliran di Sungai (Miller, 1984; Moradzadeh et al., 2020; Venkata et al., 2008). Proses hidrologi dibagi menjadi dua tahap: pertama, proses hujan-limpasan di setiap sub-DAS menggunakan model konseptual tangki (R. S. Chen & Pi, 2004; S.-K. Chen et al., 2014; Lee & Singh, 1999; Mizumura, 1995). Dalam model ini, lapisan tanah dianalogikan sebagai tangki-tangki yang saling berhubungan. Hasil dari fase pertama adalah aliran lateral di setiap sub-DAS. Kedua, fase flow routing atau aliran antar sub-DAS menggunakan metode *kinematic wave* untuk menghubungkan aliran sungai antar sub-DAS (R. S. Chen & Pi, 2004; S.-K. Chen et al., 2014; Lee & Singh, 1999; Mizumura, 1995).

Model tangki memiliki struktur empat tangki yang tersusun vertikal untuk mensimulasikan hujan menjadi limpasan harian. Susunan ini bertujuan

METODOLOGI

Struktur UPer-RRM

Secara umum, struktur UPer-RRM terdiri dari tiga bagian utama: *preprocessing*, *processing*, dan *postprocessing*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Bagian *preprocessing* mencakup pembuatan file parameter model dan pengolahan data hujan satelit untuk setiap sub-DAS. Pada bagian *processing*, dilakukan simulasi hujan-limpasan di setiap sub-DAS menggunakan *Tank Model* dan penelusuran aliran dengan *kinematic wave*. Bagian *postprocessing* meliputi visualisasi hasil model.

untuk meniru proses yang terjadi di dalam tanah dengan pendekatan yang sederhana. Adapun persamaan yang digunakan dalam metode tangki adalah persamaan keseimbangan air, untuk setiap tangki diwakili oleh persamaan berikut.

$$SA(t) = SA(t-1) + P(t) - ET(t) - O_1(t) - O_2(t) - Inf(t) \quad (1)$$

$$SB(t) = SB(t-1) + Inf(t) - E(t) - O_3(t) - Perc B(t) \quad (2)$$

$$SC(t) = SC(t-1) + Perc B(t) - E(t) - O_4(t) - Perc C(t) \quad (3)$$

$$SD(t) = SD(t-1) + Perc C(t) - E(t) - O_5(t) \quad (4)$$

SA, SB, SC , dan SD merujuk pada tampungan air masing-masing dalam tangki 1, tangki 2, tangki 3 dan tangki 4. Variabel (t) menunjukkan waktu saat ini, sementara $(t-1)$ menunjukkan waktu

sebelumnya. P adalah hujan yang terjadi, ET adalah evapotranspirasi, E adalah residu evapotranspirasi dari tangki di atas. Inf merujuk pada laju infiltrasi, $Perc B$ dan $Perc C$ merujuk pada laju perkolasi untuk tangki 2 dan 3, dan O_1, O_2, O_3, O_4 dan O_5 adalah limpasan yang terjadi.

Hasil simulasi pada fase pertama menghasilkan aliran lateral yang akan mengalir ke sungai. Untuk mendapatkan nilai debit hidrograf, aliran lateral ini dimasukkan ke dalam persamaan *kinematic wave*. Persamaan *kinematic wave* terdiri dari dua persamaan, yaitu persamaan kontinuitas dan persamaan kekekalan momentum, yang dijelaskan sebagai berikut.

- Persamaan kontinuitas:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

- Persamaan kekekalan momentum:

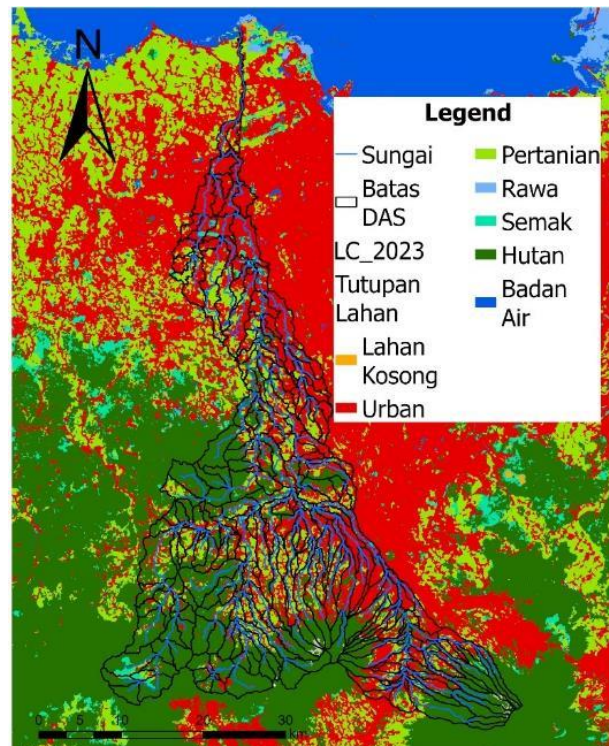
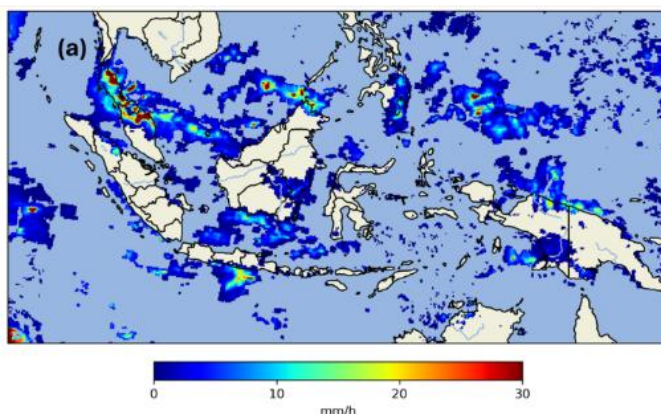
$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_0 - S_f) = 0$$

(6)

Q merupakan debit aliran, sedangkan A adalah luas penampang basah. Variabel y menunjukkan kedalaman aliran. S_0 mengacu pada kemiringan dasar sungai dan S_f adalah kemiringan energi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aplikasi UPer-RRM digunakan untuk menganalisis hujan limpasan di DAS Cisadane. Dalam studi ini, DAS Cisadane dibagi menjadi 295 sub-DAS dengan luas yang bervariasi dari 0,1 km² hingga 22,7 km², dengan total luas keseluruhan sebesar 1.316,88 km².

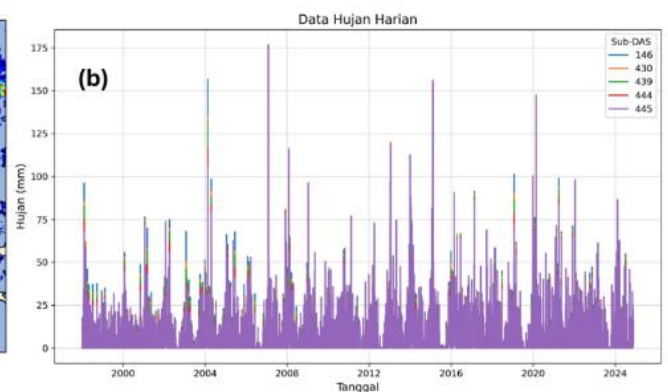


(5)

Gambar 2. Lokasi studi DAS Cisadane, garis hitam merupakan batas sub-DAS dan garis biru merupakan aliran Sungai

Pre-processing

Pada tahap ini, UPer-RRM mampu mengolah data hujan satelit. Gambar 3 menunjukkan contoh hasil pengolahan data hujan satelit, di mana Gambar 3(a) merupakan peta spasial hujan satelit GSMaP (Global Satellite Mapping of Precipitation) (Kubota et al., 2020), sementara Gambar 3(b) menampilkan data hujan dalam bentuk *time series* untuk masing-masing sub-DAS. Selain itu, UPer-RRM juga dapat menghitung hujan rata-rata daerah menggunakan metode isohyet.



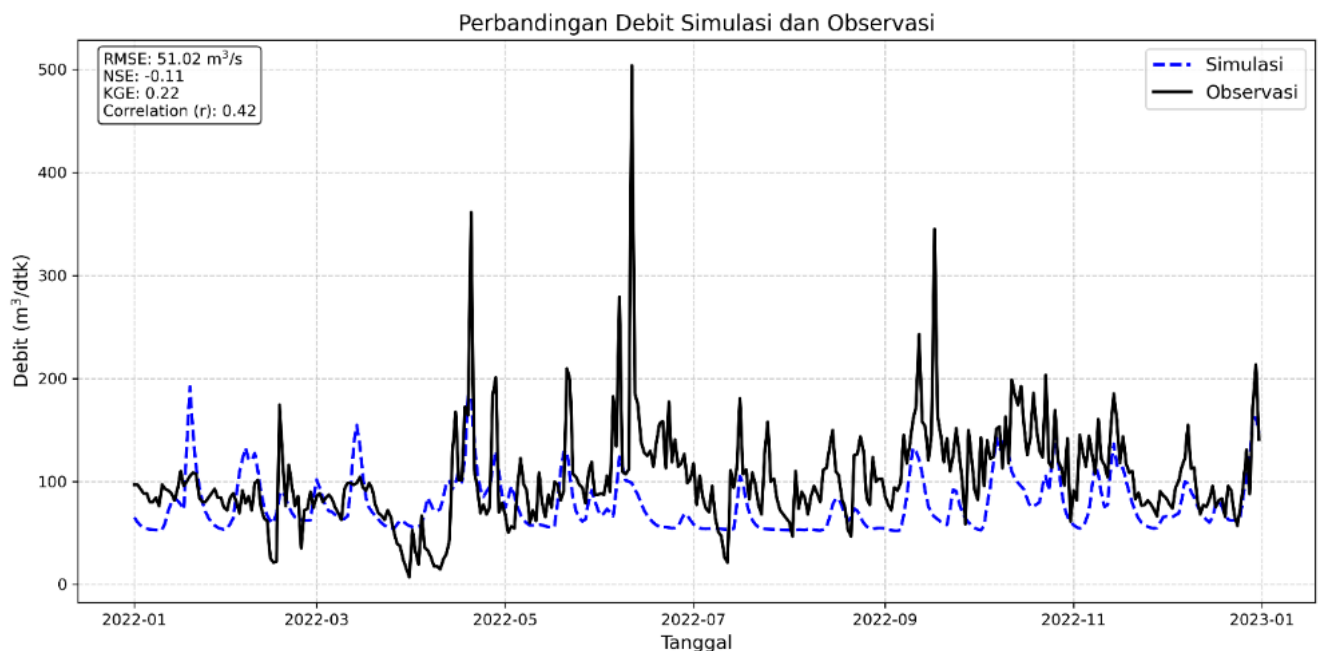
Gambar 3. Peta spasial dan time series data hujan satelit GSMaP untuk masing-masing sub-DAS

Selain pengolahan data hujan satelit, tahapan preprocessing ini juga menghasilkan parameter-parameter seperti persentase tutupan lahan untuk setiap sub-DAS, serta parameter lainnya yang digunakan dalam analisis hujan-limpasan.

Processing

Tahapan *Processing* melibatkan simulasi hujan limpasan, baik di lahan atau DAS, maupun aliran di sungai. Pada tahap ini, dilakukan juga kalibrasi

model menggunakan data debit dari stasiun pengamatan di Serpong. Hasil kalibrasi ditunjukkan pada Gambar 4. Proses kalibrasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan debit observasi dan mengubah nilai parameter secara manual untuk mendapatkan hasil kalibrasi yang lebih sesuai. Proses kalibrasi sangat bergantung pada kualitas data, baik data input hujan maupun data pengamatan debit.



Gambar 4. Perbandingan debit simulasi dan debit observasi

Dalam Uper-RRM, hasil indikator performa yang diperoleh meliputi RMSE (*root mean square error*), NSE (*Nash-Sutcliffe Efficiency*), KGE (*Kling-Gupta Efficiency*), serta koefisien korelasi. Pada contoh kasus yang digunakan, diperoleh nilai koefisien korelasi sebesar 0,42, KGE sebesar 0,22, NSE sebesar -0,11, dan RMSE sebesar 51,02 m³/detik. Berdasarkan nilai indikator performa yang diperoleh dari kalibrasi model Uper-RRM, koefisien korelasi sebesar 0,42 menunjukkan korelasi yang lemah antara hasil simulasi dan data observasi. KGE sebesar 0,22 mengindikasikan bahwa model memiliki performa yang kurang baik dalam merepresentasikan variabilitas debit aliran. NSE sebesar -0,11 menunjukkan bahwa hasil simulasi lebih buruk daripada menggunakan nilai rata-rata debit observasi sebagai prediksi, dengan nilai negatif NSE menunjukkan model yang kurang

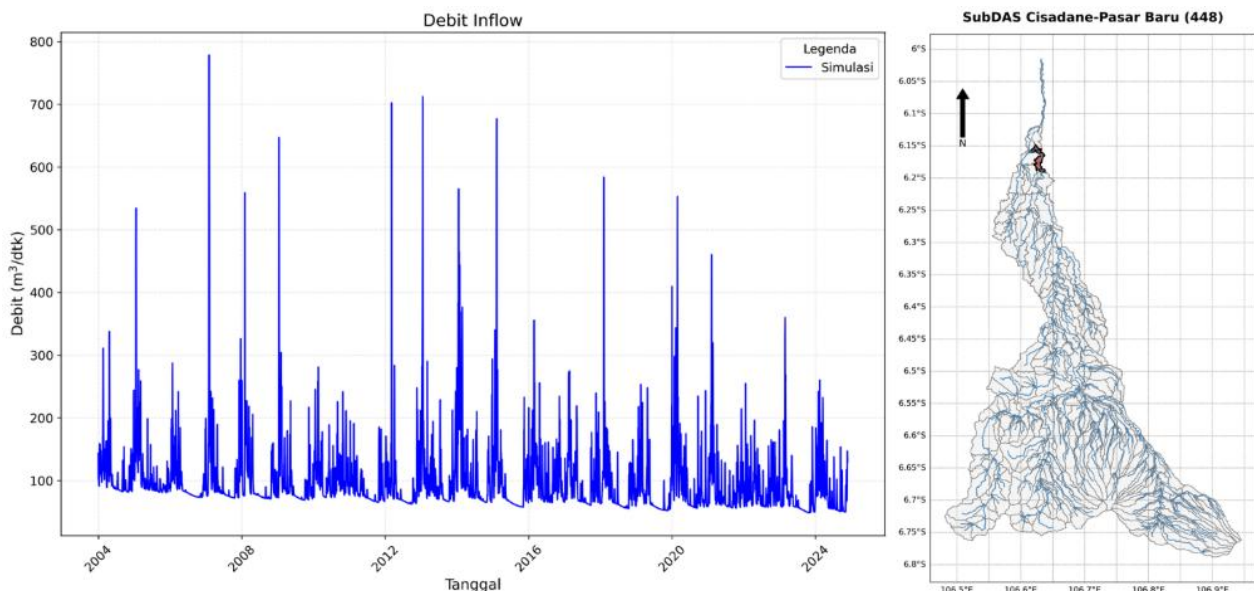
handal. Sementara itu, RMSE sebesar 51,02 m³/detik menggambarkan tingkat kesalahan prediksi yang cukup tinggi antara hasil simulasi dan data observasi. Secara keseluruhan, hasil indikator performa menunjukkan bahwa model Uper-RRM dalam simulasi ini belum mencapai tingkat akurasi yang memadai untuk merepresentasikan debit aliran dengan baik. Kualitas data input serta proses kalibrasi yang lebih tepat perlu ditingkatkan untuk memperoleh hasil simulasi yang lebih akurat dan sesuai dengan kondisi nyata.

Post-processing

Tahapan Post-Processing adalah tahap pengolahan hasil pemodelan. Hasil pemodelan yang diperoleh berupa hidrograf berdasarkan sub-DAS yang ada. Hasil pengolahan ini bisa berupa gambar untuk visualisasi atau tabel yang dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut, seperti perencanaan debit

andalan atau analisis hidraulika. Gambar 5 merupakan contoh visualisasi hasil pemodelan, yang menunjukkan hasil simulasi hidrograf debit dari awal hingga akhir simulasi. Selain itu, UPer-

RRM juga memberikan informasi mengenai sub-DAS tempat hidrograf tersebut berada, yang ditampilkan dalam bentuk peta.



Gambar 5. Hasil simulasi UPer-RRM berupa hidrograf dan lokasi sub-DAS di mana hidrograf tersebut berada.

KESIMPULAN

Penelitian ini mengembangkan model hujan limpasan berbasis pemrograman Python. Model yang dikembangkan adalah model semi-terdistribusi yang mampu mengakomodasi faktor karakteristik spasial dalam sebuah DAS. Model UPer-RRM memiliki kemampuan untuk mengolah data hujan dari satelit serta menampilkan hasil simulasi berdasarkan lokasi sub-DAS. Pada studi ini, aplikasi UPer-RRM diterapkan pada DAS Cisadane. Meskipun indikator performanya kurang memuaskan, yang kemungkinan disebabkan oleh kualitas data yang kurang baik, model ini sudah mampu menampilkan hasil simulasi dengan baik. Versi berikutnya dari UPer-RRM akan menambahkan fitur pengolahan output simulasi secara statistik, sehingga model ini akan dapat menghasilkan debit andalan untuk setiap sub-DAS. Selain itu, aplikasi ini akan diperluas untuk berbagai DAS lainnya.

Data Tambahan

[Data satelit GSMaP untuk wilayah Indonesia](#)

[Source code UPer-RRM ver 0.0.1](#)

REFERENSI

- Ali, S., Rahman, A., & Shaik, R. (2024). A Review of Event-Based Conceptual Rainfall-Runoff Models: A Case for Australia. *Encyclopedia*, 4(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia4020062>
- Birkel, C., & Barahona, A. C. (2019). Rainfall-Runoff Modeling: A Brief Overview. In *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11595-7>
- Chen, R. S., & Pi, L. C. (2004). Diffusive tank model application in rainfall-runoff analysis of upland fields in Taiwan. *Agricultural Water Management*, 70(1), 39–50. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.05.002>
- Chen, S.-K., Chen, R.-S., & Yang, T.-Y. (2014). Application of a tank model to assess the flood-control function of a terraced paddy field. *Hydrological Sciences Journal*, 59(5), 1020–1031. <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.822642>
- Chow, V. T. (2010). *Applied Hydrology*. Tata McGraw-Hill Education.

- Kubota, T., Aonashi, K., Ushio, T., Shige, S., Takayabu, Y. N., Kachi, M., Arai, Y., Tashima, T., Masaki, T., Kawamoto, N., Mega, T., Yamamoto, M. K., Hamada, A., Yamaji, M., Liu, G., & Oki, R. (2020). Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) Products in the GPM Era. In V. Levizzani, C. Kidd, D. B. Kirschbaum, C. D. Kummerow, K. Nakamura, & F. J. Turk (Eds.), *Satellite Precipitation Measurement: Volume 1* (pp. 355–373). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-24568-9_20
- Lee, Y. H., & Singh, V. P. (1999). Tank Model Using Kalman Filter. *Journal of Hydrologic Engineering*, 4(4), 344–349. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(1999\)4:4\(344\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(1999)4:4(344))
- Miller, J. E. (1984). *Basic Concepts of Kinematic-Wave Models* (Professional Paper) [Professional Paper]. UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR.
- Mizumura, K. (1995). Runoff Prediction by Simple Tank Model Using Recession Curves. *Journal of Hydraulic Engineering*, 121(11), 812–818. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1995\)121:11\(812\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1995)121:11(812))
- Moradzadeh, M., Boroomandnasab, S., Moazed, H., Alavi, J., Jamalain, A., Khaledian, M., & Ruy, S. (2020). A new kinematic–dispersive wave van Genuchten (KDW-VG) model for numerical simulation of preferential water flow in soil. *Journal of Hydrology*, 582, 124480. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124480>
- Praskievicz, S., & Chang, H. (2009). A review of hydrological modelling of basin-scale climate change and urban development impacts. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 33(5), 650–671. <https://doi.org/10.1177/0309133309348098>
- Roudier, P., Ducharne, A., & Feyen, L. (2014). Climate change impacts on runoff in West Africa: A review. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(7), 2789–2801. <https://doi.org/10.5194/hess-18-2789-2014>
- Teshager, A. D., Gassman, P. W., Schoof, J. T., & Secchi, S. (2016). Assessment of impacts of agricultural and climate change scenarios on watershed water quantity and quality, and crop production. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(8), 3325–3342. <https://doi.org/10.5194/hess-20-3325-2016>
- Venkata, R. K., Eldho, T. I., Rao, E. P., & Chithra, N. R. (2008). A Distributed Kinematic Wave–Philip Infiltration Watershed Model Using FEM, GIS and Remotely Sensed Data. *Water Resources Management*, 22(6), 737–755. <https://doi.org/10.1007/s11269-007-9189-5>
- Yan, H., & Edwards, F. G. (2013). Effects of Land Use Change on Hydrologic Response at a Watershed Scale, Arkansas. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(12), 1779–1785. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000743](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000743)