

MODEL PREDIKSI KETERSEDIAAN AIR MENGUNAKAN DATA SIRKULASI ATMOSFER

Gusfan Halik^{1*}, Sri Wahyuni², Wiwik Yunarni¹, Saiful Bukhori³

¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas Jember

²Jurusan Teknik Pengairan, Universitas Brawijaya

³Program Studi Teknologi Informasi, Universitas Jember

*gusfan.teknik@unej.ac.id

Pemasukan: 3 November 2022 Perbaikan: 22 November 2022 Diterima: 24 November 2022

Intisari

Perubahan iklim global telah memberikan pengaruh terhadap perubahan pola curah hujan sehingga berdampak pada ketersediaan air. Disamping itu, kondisi fenomena iklim lokal seperti ENSO juga memberikan pengaruh terhadap perubahan pola hujan dan ketersediaan air. Saat ini, prediksi hujan dan ketersediaan air sangat sulit dilakukan karena terjadinya perubahan iklim dan adanya ketidakpastian fenomena iklim lokal. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan ketersediaan air di DAS Sampean Baru Kabupaten Bondowoso menggunakan data sirkulasi atmosfer secara langsung. Model prediksi ketersediaan air diusulkan menggunakan model hybrid berbasis kecerdasan buatan, yaitu: *Wavelet Neural Networks (WNN)*. Model WNN menggabungkan fitur ekstraksi dengan transformasi wavelet dan fungsi transfer non linier *Artificial Neural Networks*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola ketersediaan air antara luaran WNN dengan pola ketersediaan air observasi mempunyai kesesuaian pola yang sama. Namun demikian, luaran WNN belum mampu memprediksi debit aliran tinggi atau debit puncak dengan baik. Oleh karena itu, model WNN ini hanya direkomendasikan untuk memprediksi debit operasional atau debit andalan bulanan. Berdasarkan hasil penelitian ini, model prediksi ketersediaan air dengan WNN dapat dimanfaatkan oleh instansi terkait sebagai alternatif dasar pertimbangan dalam merancang strategi alokasi air.

Kata Kunci: Perubahan iklim, Sirkulasi atmosfer, Ketersediaan air, Model WNN, DAS Sampean Baru

Latar Belakang

Ketersediaan air sangat penting untuk adaptasi dan mitigasi perubahan iklim, pembangunan berkelanjutan dan keberlangsungan kehidupan. Perubahan iklim telah memberikan pengaruh terhadap variabilitas hujan dalam siklus hidrologi, peningkatan kejadian cuaca ekstrim, pergeseran musim sehingga berdampak terhadap ketersediaan air. *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2014)*, menyatakan bahwa negara-negara di Asia Tenggara termasuk Indonesia, diprediksi akan mengalami perubahan pola curah hujan seiring terjadinya perubahan iklim. Kondisi ini tentunya akan berpengaruh terhadap perubahan ketersediaan air. Disamping itu, perubahan iklim juga memberikan dampak

terhadap peningkatan frekuensi kejadian bencana kekeringan di Indonesia, termasuk bencana kekeringan yang terjadi di DAS Sampean Baru Kabupaten Bondowoso (Halik dkk., 2022). Oleh karena itu, diperlukan upaya kongkrit pengelolaan sumber daya air yang terpadu dan berkelanjutan dalam menjamin ketahanan air.

Dalam Indonesia Visi 2045 menuju ketahanan air, ditetapkan tiga pilar utama yaitu : 1). Pengelolaan sumber daya air secara berkelanjutan dan memperkuat ketahanan terhadap ancaman air, 2). Peningkatkan inklusivitas keberlanjutan dan efisiensi layanan air, 3). Penguatan kelembagaan dan tata kelola air yang efisien dan berkelanjutan (Kementerian PPN/Bappenas dan World Bank, 2021). Salah satu tindakan yang perlu dilakukan adalah menjaga ketahanan air secara berkelanjutan dan memitigasi dampak perubahan iklim terhadap ketahanan atau ketersediaan air.

Secara hidrologis, ketersediaan air dipengaruhi oleh kondisi iklim global dan kondisi iklim lokal. Fenomena iklim global ini merupakan interaksi sirkulasi atmosfer yang sangat kompleks yang memberikan dampak terhadap perubahan iklim. Sementara itu, fenomena iklim lokal seperti: ENSO (*El-Nino* dan *La-Nina*) juga akan memberikan pengaruh terhadap panjang musim dan perubahan ketersediaan air (Ibnu A., dkk., 2017).

Saat ini, prediksi ketersediaan air atau debit aliran sebagai dasar pengelolaan alokasi air menggunakan analisis debit observasi dengan keandalan tertentu atau sering disebut debit andalan. Hasil perhitungan debit andalan ini sering dijumpai ketidaksesuaian dengan kondisi lapangan, karena terjadinya pergeseran atau perubahan durasi musim hujan dan musim kemarau. Kondisi ini disebabkan oleh dampak fenomena iklim global dan lokal. Oleh karena itu, perlu dikembangkan model prediksi ketersediaan air dengan mempertimbangkan sirkulasi atmosfer secara langsung.

Disamping itu, tidak semua DAS memiliki stasiun pengukur debit aliran, sehingga debit andalan tidak dapat diperoleh secara langsung. Pada DAS dengan data debit aliran yang tidak tersedia, maka prediksi ketersediaan air dapat digunakan pendekatan model hujan - aliran. Berbagai model prediksi ketersediaan air telah dikembangkan, seperti pendekatan berbasis: model fisik, model deterministik dan model stokastik (Beven K., 2012). Penggunaan model deterministik memerlukan penyesuaian parameter model dari DAS yang dimodelkan (kalibrasi – validasi). Beberapa model deterministik ketersediaan air yang sering diaplikasikan pada DAS-DAS di Indonesia, diantaranya: Model *HEC-HMS* (Irma dan Umbaro, 2021), Model *SWAT* (Mulyana dkk., 2011), Model *Nreca*, *Tangki* dan Model *RainRun* (Subrata dkk., 2020) dan lain sebagainya.

Dalam dekade terakhir telah berkembang model hujan - aliran berbasis *data driven* atau *machine learning*. Pengembangan model berbasis *data driven* ini melengkapi pemodelan hujan aliran sebelumnya berbasis model fisik dan model konseptual/deterministik. Beberapa model *data driven* yang telah dikembangkan diantaranya: *Artificial Neural Networks (ANN)* (Haniyeh A., dkk., 2019), *Wavelet Neural Networks (WNN)* (Uysal dan Sorman, 2017), *Support Vector Machine (SVM)* (Sandeep S., dkk., 2022), *Deep Learning (DL)* (Thomas Lees, dkk., 2021)

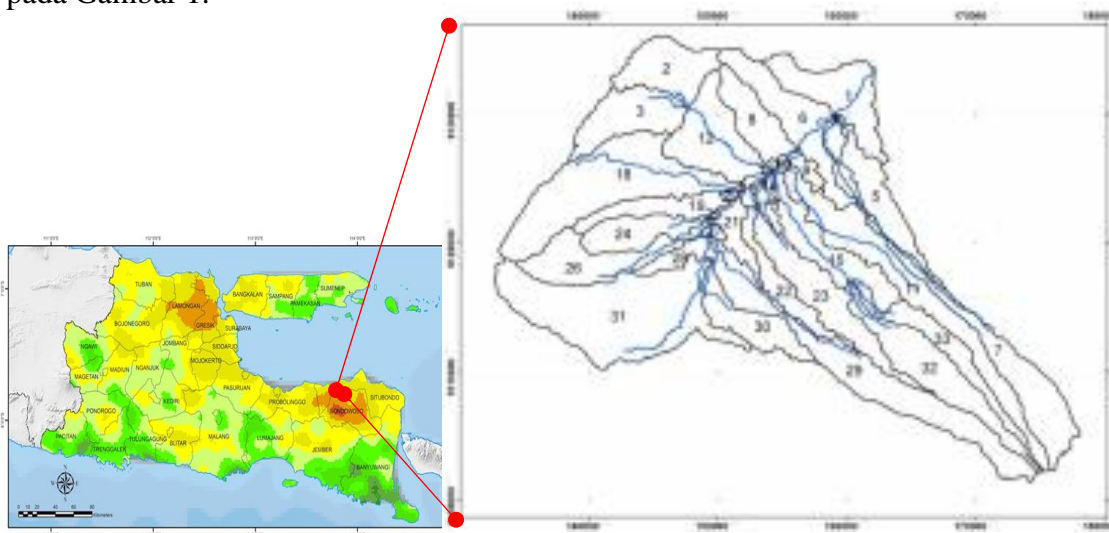
dan lainnya. Keunggulan model berbasis data driven adalah kemampuan mengenali pola (*training*) dari kejadian aliran di masa lampau untuk memprediksi aliran di masa mendatang. Model ini sangat cocok diaplikasikan jika data yang tersedia cukup banyak dan kompleks, datanya tidak terstruktur atau tidak mempunyai pola atau trend yang jelas.

Dalam penelitian ini akan dikembangkan model berbasis data driven (*WNN*) dengan data input model berupa data sirkulasi atmosfer dari satelit NOAA. Sedangkan outputnya berupa data ketersediaan air atau debit aliran. Pemodelan ini menggunakan DAS Sampean Baru Kabupaten Bondowoso sebagai studi kasus.

Metodologi Studi

Lokasi Penelitian

Secara administratif, lokasi penelitian dilakukan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Sampean Baru di Kabupaten Bondowoso, Jawa Timur. Secara geografis, DAS Sampean Baru terletak pada posisi $7^{\circ}48'$ - $7^{\circ}58'$ LS dan $114^{\circ}40'$ - $114^{\circ}48'$ BT dengan luas DAS sebesar 761 Km². Lokasi penelitian DAS Sampean Baru ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian di DAS Sampean Baru Bondowoso

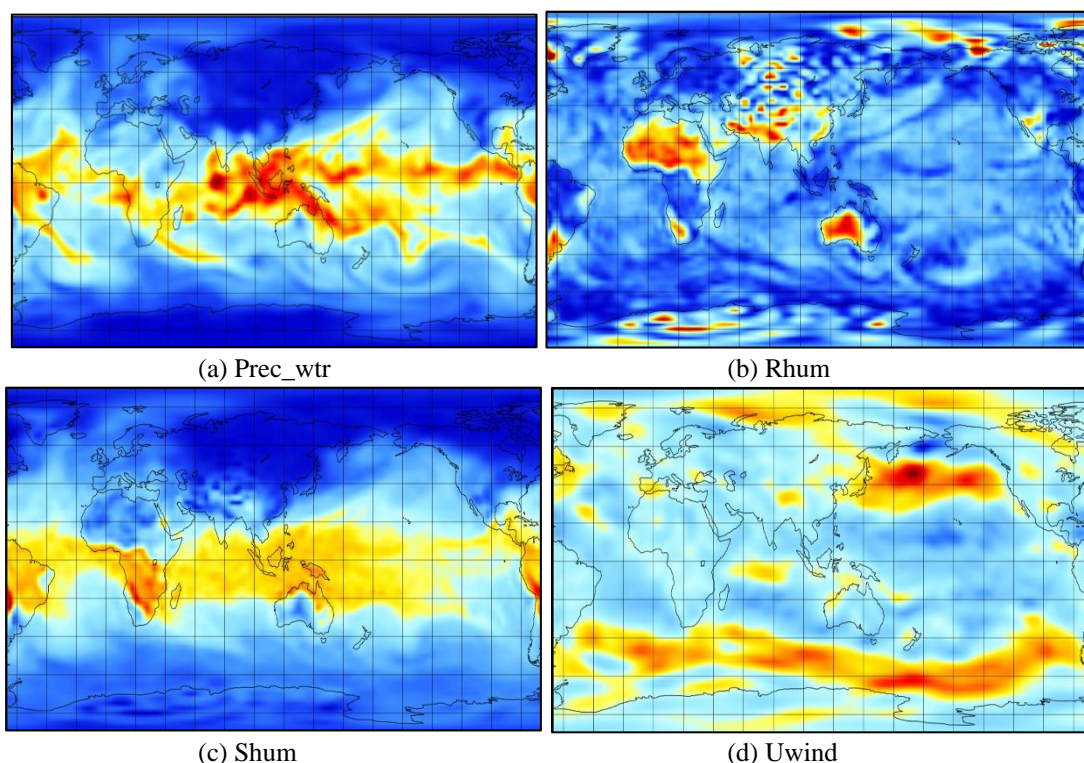
Tahapan Penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahap, dimana masing-masing tahap mempunyai tujuan berbeda, meliputi : 1). Pengumpulan data sirkulasi atmosfer, 2). Pengolahan data atau prapemrosesan data, 3). Pemodelan dan pembahasan ketersediaan air.

1). Pengumpulan Data Sirkulasi Atmosfir

Data penelitian yang digunakan adalah data sirkulasi atmosfer dari observasi satelit NOAA. Variabel data sirkulasi atmosfer dari NOAA yang dipakai, meliputi: curah hujan (*prec_wtr*), kelembapan spesifik dan relatif di ketinggian 500 hPa dan 850

hPa (Shum-500, Shum-850, Rhum-500, Rhum-850), kecepatan angin zonal dan meridional baik di permukaan maupun di ketinggian 500 hPa dan 850 hPa (Uwind, Uwind-500, Uwind-850, Vwind, Vwind-850). Beberapa sebaran data sirkulasi atmosfer ditunjukkan pada Gambar 2, Sedangkan data ketersediaan air atau data debit aliran diperoleh dari data observasi di outlet DAS Sampean Baru, UPT Wilayah Sungai Sampean di Kabupaten Bondowoso, Jawa Timur.



Gambar 2. Sebaran Data Sirkulasi Atmosfer Global

2). *Prapemrosesan Data*

Setelah data sirkulasi atmosfer diperoleh, tahapan selanjutnya adalah pra-pemrosesan data. Dalam penelitian ini, pra-pemrosesan data menggunakan metode transformasi wavelet diskrit (DWT). DWT merupakan alat bantu yang sangat membantu (*powerful*) untuk menganalisis dan mensintesa data dari proses pengamatan yang panjang (Ramana dkk., 2013). Analisis trend atau pola data hujan dengan DWT juga memberikan hasil analisis hujan yang jelas dan struktur pola hujan yang mudah dikenali (Osgur Kisi, 2011). DWT mendekomposisikan data masukan dalam komponen frekuensi berbeda tanpa adanya kehilangan informasi penting. DWT merupakan fungsi skala yang mengkonversikan data masukan ke dalam fungsi dasar transformasi wavelet (*father* dan *mother wavelet*) (Kaboudan, 2005).

DWT memproses karakteristik input data menggunakan dua fungsi set, yaitu filter high-pass dan filter low-pass. Disamping itu, keberhasilan proses karakteristik data juga dipengaruhi oleh pemilihan fungsi dasar transformasi wavelet. Beberapa

fungsi dasar wavelet yang sering dipakai, diantaranya: Haar, Daubechies dan Morlet. Secara umum, persamaan transformasi wavelet adalah sebagai berikut:

$$f(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (1)$$

Dimana φ adalah fungsi dasar wavelet, t adalah panjang efektif, $f(t)$ adalah data target, a adalah faktor skala yang menentukan karakteristik frekuensi data, dan b adalah translasi waktu

Data sirkulasi atmosfer sebagai data masukan asli akan melalui dua filter (*low-pass* dan *high-pass*) sehingga menghasilkan dua luaran nilai yaitu nilai A (*Approximation*) dan nilai D (*Detail*). Nilai A ini merupakan bagian penting dalam mempelajari karakteristik masukan atau sinyal. Proses dekomposisi ini dilakukan secara iterasi sampai diperoleh karakteristik masukan yang sesuai.

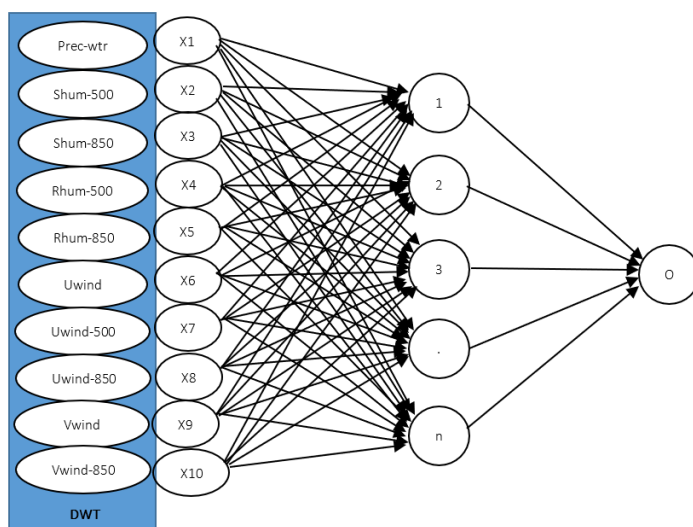
3). *Pemodelan Ketersediaan Air*

Tahap selanjutnya adalah pemodelan ketersediaan air menggunakan model *Wavelet Neural Network (WNN)*. Data hasil pra-pemrosesan dengan DWT dipakai sebagai data input *WNN* dengan data target dan luaran berupa debit aliran (ketersediaan air). *WNN* adalah model hibrid yang merupakan gabungan antara pra-pemrosesan data sirkulasi atmosfer dengan tranformasi wavelet dan model transfer non linier dengan *Artificial Neural Networks*.

Arsitektur *WNN* menggunakan *Backpropagation Neural Networks (BPNN)*, sedangkan metode training jaringan menggunakan algoritma Levenberg – Marquardt dengan persamaan sebagai berikut :

$$X_{k+1} = X_k - (J^T J + \mu I)^{-1} J^t e \quad (2)$$

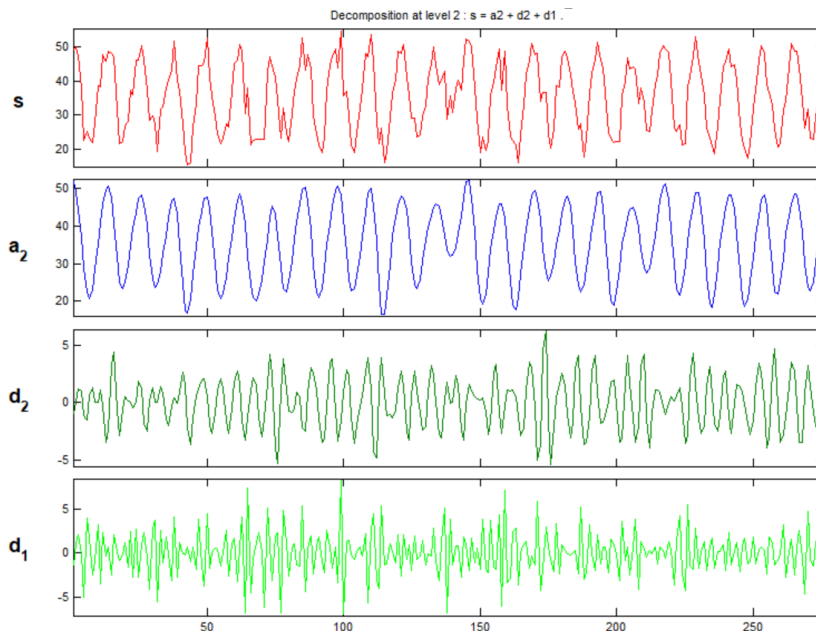
Arsitektur ANN dalam penelitian ini menggunakan *Multi Layer Perceptron (MLP)* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Data sirkulasi atmosfer diproses menggunakan DWT sebelum menjadi input model *WNN*. Luaran model *WNN* adalah prediksi debit aliran yang kemudian dibandingkan dengan debit observasi lapangan. Keandalan atau kesesuaian model dinyatakan dalam hubungan atau korelasi antara debit luaran model dengan debit observasi.



Gambar 3. Arsitektur WNN

Hasil Studi dan Pembahasan

Data sirkulasi atmosfer dianalisis menggunakan transformasi wavelet (DWT). Pemilihan fungsi dasar yang dipakai adalah wavelet daubechies. Analisis data sirkulasi atmosfer lainnya dilakukan dengan cara yang sama sehingga diperoleh nilai aproksimasi (a) dan detail (d) dari masing-masing variabel data input. Hasil pra-pemrosesan DWT pada data hujan (prec_wtr) ditunjukkan pada Gambar 4.



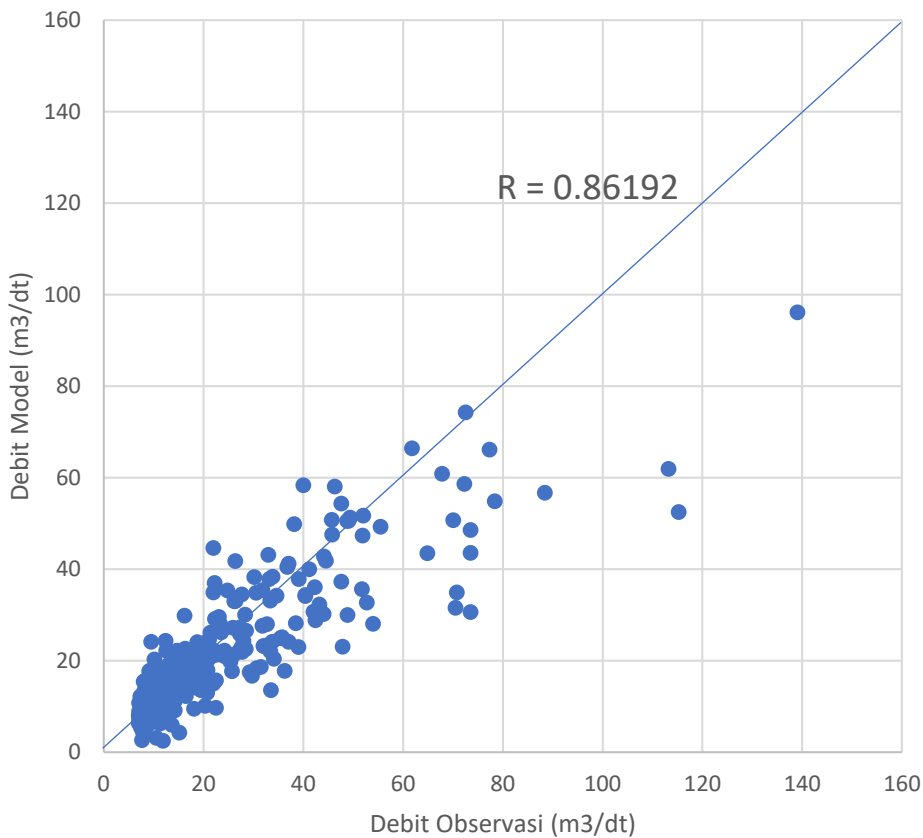
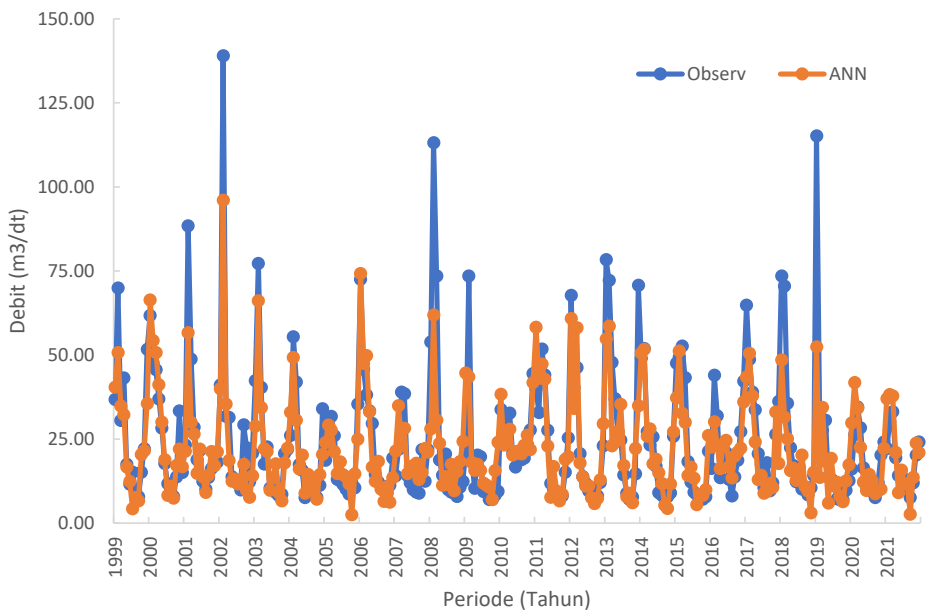
Gambar 4. Hasil Analisis DWT (prec_wtr)

Setelah pra-perosesan data input selesai, selanjutnya dibuat rancangan model berbasis kecerdasan buatan (*Artificial Neural Networks*) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

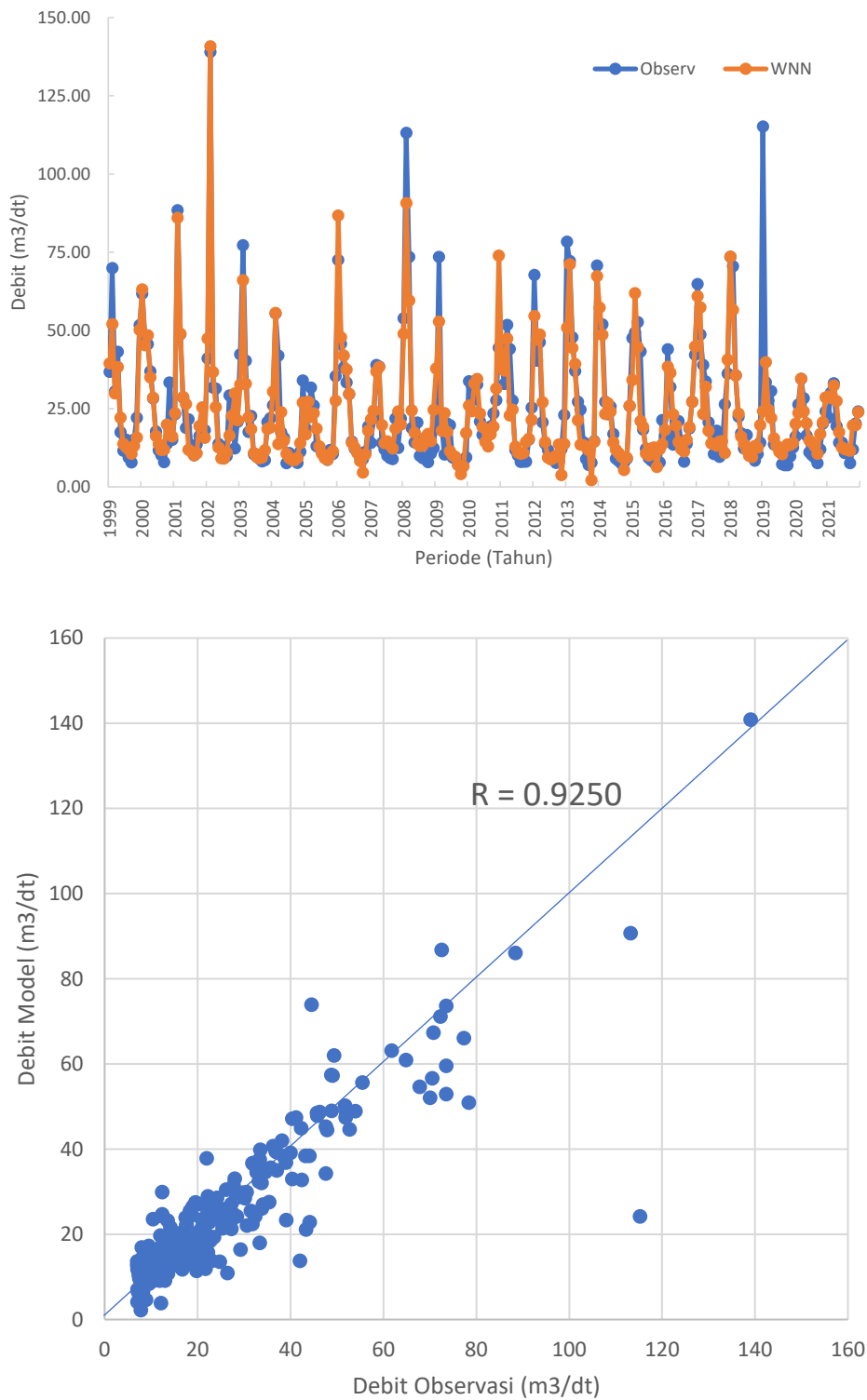
Tabel 1. Rancangan Model

No	Model	Pra-pemrosesan (DWT)	Input	Output
1	ANN	Tidak ada	10 variabel sirkulasi atmosfer	Debit aliran
2	WNN	DWT	10 variabel sirkulasi atmosfer	Debit aliran

Running kedua model pada tahap training dilakukan secara iterasi sampai diperoleh parameter training yang paling optimal. Kemudian dilakukan testing model menggunakan data input dengan periode pengamatan yang berbeda. Hasil pemodelan selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 2, sedangkan plotting luaran model ditunjukkan di Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Plot Luaran Model ANN dan Observasi



Gambar 6. Plot Luaran Model WNN dan Observasi

Berdasarkan hasil pemodelan (Gambar 5 dan 6), menunjukkan bahwa luaran model yang dihasilkan mendekati dengan pola debit observasinya. Model *WNN* ($R = 0.925$) memiliki tingkat keandalan yang lebih baik jika dibandingkan dengan model *ANN* ($R = 0.862$). Namun demikian, kedua model ini belum bisa memprediksi dengan akurat debit aliran tinggi yang terjadi pada saat musim penghujan khususnya pada beberapa kejadian puncak banjir (puncak banjir tahun 2019).

Pola ini mempunyai kesesuaian dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Uysal dan Ali (2017) yang menggunakan data input: curah data hujan, temperatur, evaporasi dan evapotranspirasi hasil observasi di permukaan bumi. Oleh karena itu, pemanfaatan data sirkulasi atmosfer global dari satelit NOAA dapat dipakai sebagai alternatif untuk memprediksi debit aliran atau ketersediaan air pada suatu DAS.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat dinyatakan bahwa model *WNN* dalam prediksi ketersediaan air menggunakan data sirkulasi atmosfer global dapat memberikan hasil yang sangat memuaskan. Pola ketersediaan air luaran model *WNN* mendekati pola ketersediaan air observasi. Namun demikian, model *WNN* belum bisa memprediksi semua debit aliran tinggi dengan akurasi tinggi. Untuk DAS dengan data pengukuran aliran yang tidak tersedia atau terbatas, maka model *WNN* dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu dalam memprediksi ketersediaan air berdasarkan data sirkulasi atmosfer global.

Saran

Dalam penelitian ini, input model *WNN* hanya menggunakan data sirkulasi atmosfer secara global. Faktor fenomena iklim lokal ENSO yakni : *El-Nino* dan *La-Nina* dan perubahan penggunaan lahan belum dipertimbangkan dalam membangun model ini. Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian lebih mendalam terkait pengaruh iklim lokal dan perubahan penggunaan lahan dalam memprediksi ketersediaan air.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada LP2M Universitas Jember yang telah membantu dalam penyediaan dana penelitian melalui hibah penelitian internal skema PGB Universitas Jember tahun 2022.

Daftar Referensi

- Beven K., 2012. *Rainfall-Runoff Modelling*, John Wiley & Sons., Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119951001>
- Halik G., Victorius S. P., Retno U.A.W., 2022. Assessment of Climate Change Impact on Drought Disaster in Sampean Baru Watershed, East Java, Indonesia Based on IPCC-AR5. *Natural Hazard* Vol. 112 (2022) : 1705-1726. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05245-7>

- Haniyeh A., Kaka s., Ben J., dan Roy C.S., 2019. Rainfall-Runoff Modelling Using Hydrological Connectivity Index and Artificial Neural Networks Approach. *Water MDPI* Vol. 11 (212) : 1-20. <https://doi.org/10.3390/w11020212>
- Ibnu A., Rini M. S., dan Deassy E. D., 2017. Analisis Spasial El Nino Kuat Tahun 2015 dan La Nina Lemah Tahun 2016 (Pengaruhnya Terhadap Kelembapan, Angin dan Curah Hujan di Indonesia). *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, Vol. 18 (1) : 33-41. <https://doi.org/10.29122/jstm.v18i1.2140>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014. *Climate Change : Impact, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press.
- Irma N. F. dan Umboro L., 2021. Pemodelan Hujan-Debit di DAS Kali Madiun Menggunakan Model HEC-HMS. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, Vol. 19 (3) : 361-367. <https://doi.org/10.12962/j2579-891X.v19i3.9517>
- Kaboudan M., 2005. Extended Daily Exchange Rate Forecasting using Wavelet Temporal Resolution. *New Math Nat Comput* Vol. 1 (1) : 79-107 <https://doi.org/10.1142/S1793005705000056>
- Kementerian PPN/Bappenas dan World Bank, 2021. *Indonesia: Visi 2045 Menuju Ketahanan Pangan*. Kementerian PPN/Bappenas dan World Bank Group, Halaman 1 – 123.
- Mulyana N., Kusuma C., Abdullah K., Prasetyo L.B., 2011. Kalibrasi Model SWAT dan Pemodelan Ketersediaan -Permintaan Air di Daerah Tangkapan Air Irigasi Gubasa – Palu, *Jurnal Irigasi*, Vol. 6 (2) : 129-139.
- Ozgur Kisi, 2011. Wavelet Regression Model as an Alternative to Neural Networks for River Stage Forecasting. *Water Resources Management*, Vol. 25 (2011) : 579-600. <https://doi.org/10.1007/s11269-010-9715-8>
- Ramana R. V., Krishna B., Kumar S. R., Pandey N.G., 2013. Monthly Rainfall Prediction Using Wavelet Neural Networks Analysis. *Water Resources Management*, Vol. 17 (2013): 3697-3711. <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0374-4>
- Sandeep S., Sambit S. D., Abinash S., Deba P. S., 2022. Monthly Runoff Prediction at Baitarani River Basin by Support Vector Machine Based on Salp Swarm Algorithm. *Ain Shams Engineering Journal*, Vol. 13: 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101732>
- Subrata I.B., Hartana dan Ery S., 2020. Analisis Ketersediaan Air Menggunakan Model Rain Run, Nreca dan Tangki di DAS Babak. *Jurnal Teknik Pengairan* Vol. 11 (2) : 73-82. <https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2020.011.02.01>
- Uysal G., dan Ali U.S., 2017. Monthly Streamflow Estimation Using Wavelet Artificial Neural Networks Model: A Case Study on Camlidere Dam Basin Turkey. 9th *International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perceptron*, ICSCCW, 21-25 August 2017, Budapest, Hungary.