

PEMODELAN TINGGI MUKA AIR MENGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN

Hidayat

Pusat Penelitian Limnologi-LIPI, Cibinong, 16911
hidayat@limnologi.lipi.go.id

ABSTRAK

Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan (JST) pada studi perairan telah berkembang pada dua setengah dasawarsa terakhir seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi informasi. Pemodelan Tinggi Muka Air (TMA) merupakan salah satu aplikasi JST yang telah banyak dilakukan saat ini, namun pemodelan TMA pada daerah pasang surut masih jarang dilaporkan. Disamping aliran sungai dari hulu, TMA di daerah pasang surut juga dipengaruhi penjalaran gelombang pasang surut air laut. Penelitian ini bertujuan mengetahui sejauh mana JST dapat diaplikasikan untuk memodelkan TMA pada perairan Sungai Mahakam di kota Tenggarong dimana pengaruh pasang surut masih sangat dominan. Data yang digunakan sebagai input untuk model JST ini adalah seri waktu TMA Sungai Mahakam segmen tengah di Muara Muntai yang berjarak lebih dari 100 km dari Tenggarong dan prediksi pasang surut air laut di luar Delta Mahakam yang berjarak sekitar 100 km dari Tenggarong. Data TMA diperoleh dari hasil pengukuran dengan menggunakan *pressure sensor* dan prediksi pasang surut air laut diperoleh dari *TPXO global tidal solution*. Langkah waktu yang digunakan pada penelitian ini adalah 1 jam. Masing-masing data seri waktu dibagi menjadi *training set* (seri pelatihan) dan *validation set* (seri validasi). Evaluasi model berdasarkan nilai korelasi (r) dan efisiensi model Nash-Sutcliffe (NSE) menunjukkan bahwa JST dapat memodelkan TMA dengan baik yang ditunjukkan dengan relatif konsistennya nilai r dan NSE selama periode pelatihan dan validasi, masing-masing dengan nilai > 0.9 . Selanjutnya model JST ini dapat digunakan untuk memprediksi TMA beberapa jam/hari ke depan.

Kata kunci: Tinggi muka air, pasang surut, Sungai Mahakam, model, jaringan syaraf tiruan.

PENDAHULUAN

Jaringan Syaraf Tiruan (JST) atau *Artificial Neural Networks (ANN)* merupakan salah satu teknik pengolahan informasi yang pengembangannya terinspirasi dari usaha untuk memahami otak manusia dan meniru fungsinya. Usaha ini telah diawali sejak sekitar 70 tahun lalu (McCulloch & Pitts, 1943 dalam Govindaraju, 2000) dan berkembang pesat pada sekitar dua setengah dasawarsa terakhir seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi informasi. Secara matematis, JST sering dianggap sebagai sebuah aproksimator universal; kemampuan untuk mengidentifikasi hubungan dari pola-pola tertentu yang diberikan memungkinkan JST untuk memecahkan permasalahan yang kompleks dan berskala besar seperti pengenalan pola, pemodelan non-linear, klasifikasi, asosiasi dan kontrol (Govindaraju, 2000).

JST telah banyak diaplikasikan dalam studi perairan. Lee *et al.* (2003) menggunakan JST untuk memprediksi ledakan alga pada perairan pantai dengan menggunakan input model berupa parameter-parameter bio-fisik-kimia perairan serta parameter hidro-meteorologi. Jeong *et al.* (2006) yang menggunakan JST untuk memodelkan dinamika kelimpahan fitoplankton di sungai menyimpulkan bahwa JST dapat memprediksi besaran dan waktu terjadinya ledakan alga. Hidayat *et al.* (2014) menyatakan bahwa model JST yang telah dioptimasi dapat digunakan untuk memprediksi debit Sungai Mahakam di Samarinda dalam rentang waktu dua hari ke depan.

Pemodelan Tinggi Muka Air (TMA) merupakan salah satu aplikasi JST yang telah banyak dilakukan saat ini, namun pemodelan TMA pada daerah pasang surut masih jarang dilaporkan. TMA di daerah pasang surut merupakan salah satu bentuk interaksi fisik antara proses di daratan dan lautan. Disamping aliran sungai dari hulu, TMA di daerah pasang surut juga dipengaruhi penjalaran gelombang pasang surut air laut.

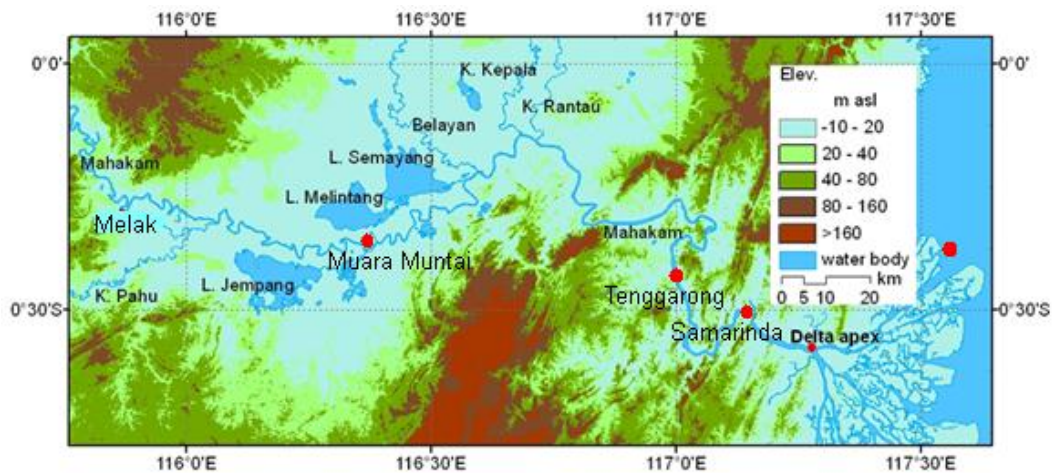
Penelitian ini bertujuan mengetahui sejauh mana JST dapat diaplikasikan untuk memodelkan TMA pada perairan Sungai Mahakam di kota Tenggarong dimana pengaruh pasang surut masih sangat dominan. Secara umum, Mahakam segmen tengah dan hilir merupakan sungai dataran rendah sehingga pengaruh pasang surut dapat merambat hingga jauh ke arah hulu (Hidayat *et al.*, 2013). Sassi & Hoitink (2013) menyatakan bahwa interaksi antara debit aliran sungai dan kondisi pasang surut mengakibatkan efek peredaman fluktuasi debit dan tinggi muka air S. Mahakam bagian hilir.

Kota Tenggarong yang terletak pada sekitar 100 km dari muara Sungai Mahakam memiliki siklus banjir yang terkait erat dengan proses hidrologis di sepanjang Daerah Aliran Sungai (DAS) dan perambatan gelombang pasang surut air laut. DAS Mahakam bagian hulu memiliki pola curah hujan yang bersifat bimodal, dengan dua periode puncak curah hujan yang biasanya terjadi pada sekitar bulan April dan Desember (Hidayat, 2013). Karena pengaruh *El Nino-Southern Oscillation* (ENSO), variabilitas musiman curah hujan di daerah ini sangat tinggi. Dari laporan media massa setempat diketahui bahwa banjir terjadi di Kota Tenggarong pada 27 Mei 2013 (kutaikartanegara.com) dan pada 11 Januari 2014 (antarakaltim.com) yang

keduanya terjadi ketika curah hujan yang tinggi di DAS Mahakam bersamaan dengan terjadinya pasang purnama.

BAHAN DAN METODE

Data yang digunakan sebagai input untuk model JST ini adalah seri waktu TMA stasiun Tenggarong dan TMA Sungai Mahakam segmen tengah di Muara Muntai yang berjarak lebih dari 100 km ke arah hulu dari Tenggarong serta prediksi pasang surut air laut di luar Delta Mahakam yang berjarak sekitar 100 km dari Tenggarong (Gambar 1). Data TMA diperoleh dari hasil pengukuran dengan menggunakan *pressure sensor* dan prediksi pasang surut air laut diperoleh dari *TPXO global tidal solution* (<http://volkov.oce.orst.edu/tides>), yang dideskripsikan oleh Egbert & Erofeeva (2002). TPXO juga membuat prediksi pasang surut untuk masa mendatang sehingga dapat digunakan sebagai salah satu komponen input untuk prediksi TMA pada daerah yang terpengaruh pasang surut air laut.



Gambar 1. Lokasi pengambilan data di sepanjang S. Mahakam.

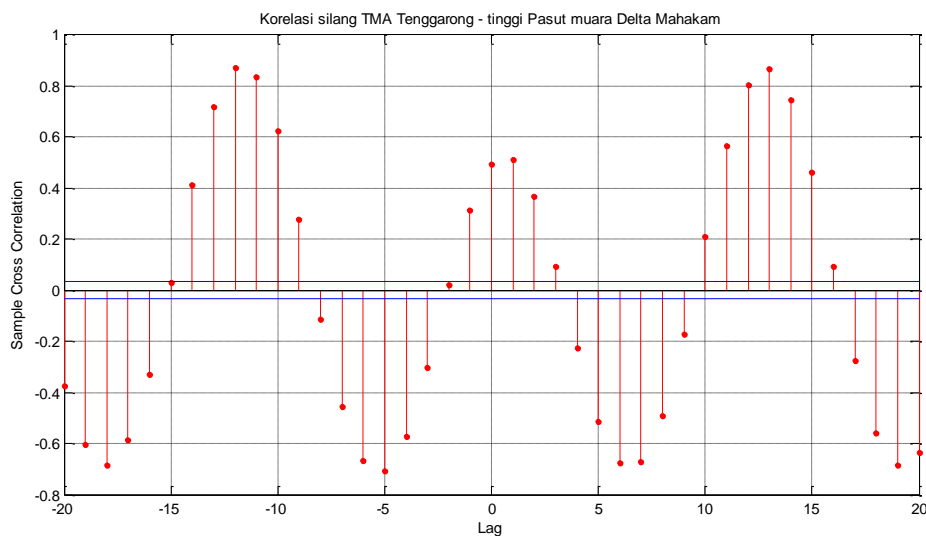
Seleksi komponen input model dilakukan dengan analisis korelasi silang (*cross-corelation*) dan auto-corelation. Gambar 2 memperlihatkan korelasi silang antara data seri TMA Tenggarong dengan tinggi pasang surut dari TPXO di sekitar Delta Mahakam bagian luar. Berdasarkan analisis ini komponen input model dari tinggi pasang surut adalah $TMA_{Pasut}(t)$, $TMA_{Pasut}(t-1)$, $TMA_{Pasut}(t-2)$, dan $TMA_{Pasut}(t-3)$ dimana notasi t adalah waktu, $t-1$ adalah satu langkah waktu ke belakang (*time*

lag). Analisis yang sama dilakukan untuk data TMA di Muara Muntai dan komponen input dari TMA Muara Muntai adalah $TMA_{Mmuntai}(t)$, $TMA_{Mmuntai}(t-1)$, $TMA_{Mmuntai}(t-2)$, $TMA_{Mmuntai}(t-3)$, $TMA_{Mmuntai}(t-4)$, $TMA_{Mmuntai}(t-5)$. Pemodelan dilakukan dengan menambah kompleksitas model secara bertahap sebagai berikut:

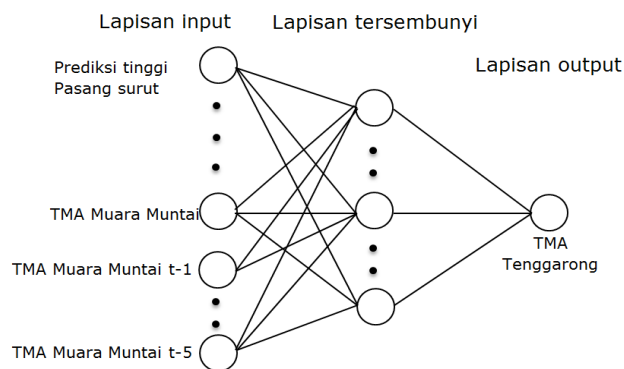
- Model JST-1: Input: tinggi pasang surut di muara;
- Model JST-2: Input: tinggi pasang surut di muara dan TMA Muara Muntai;
- Model JST-3: Input: tinggi pasang surut di muara, TMA Muara Muntai, dan

TMA historis Tenggarong.

Gambar 3 memperlihatkan secara skematis struktur model untuk Model 2.



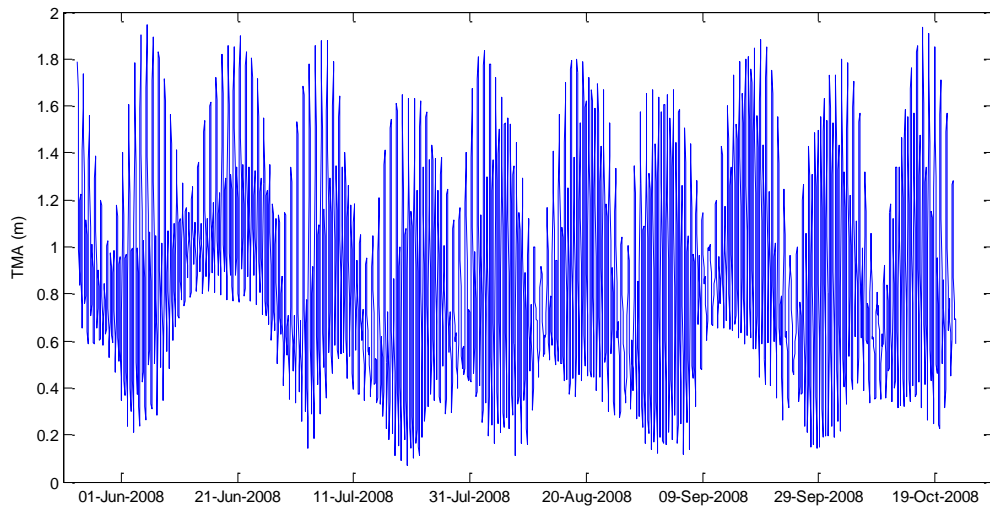
Gambar 2. Korelasi silang antara data seri TMA Tenggarong dengan tinggi pasang surut di Delta Mahakam.



Gambar 3. Struktur model untuk Model 2 (Input: tinggi pasang surut di muara dan TMA Muara Muntai).

Masing-masing data seri waktu dibagi menjadi *training set* (seri pelatihan) dan *validation set* (seri validasi). Data dari bulan Maret – Oktober 2008 digunakan sebagai seri pelatihan dan data dari bulan Januari – Maret 2009 digunakan sebagai

seri validasi. Langkah waktu yang digunakan pada data seri untuk penelitian ini adalah satu jam. Gambar 4 memperlihatkan data seri waktu yang digunakan sebagai seri pelatihan.



Gambar 4. Data seri waktu yang digunakan sebagai seri pelatihan JST.

Evaluasi model dilakukan berdasarkan nilai korelasi (r) dan efisiensi model Nash-Sutcliffe (NSE). Nilai NSE diperoleh dari rumus:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n [TMA_{obs}(t) - TMA_{sim}(t)]^2}{\sum_{t=1}^n [TMA_{obs}(t) - \bar{TMA}_{obs}]^2}$$

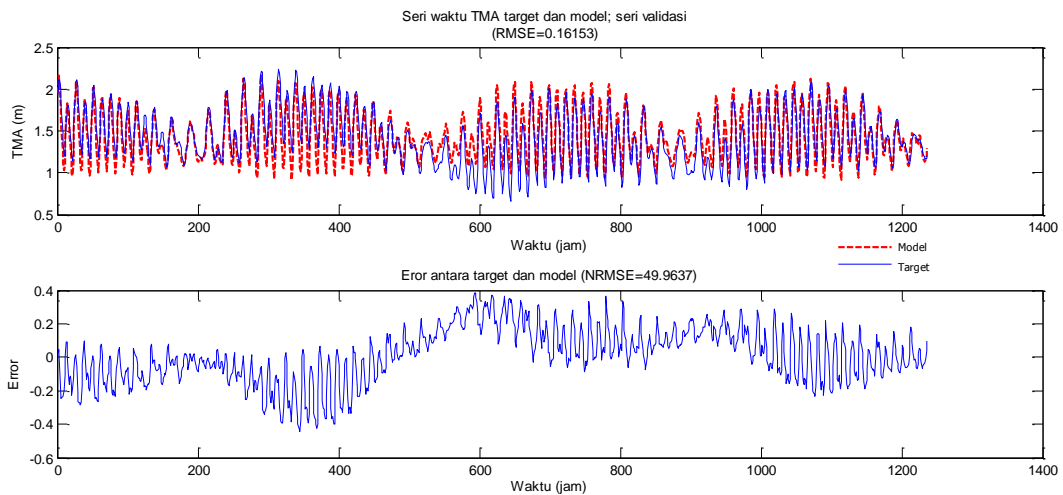
dimana TMA_{obs} adalah TMA terukur dari hasil observasi dan TMA_{sim} adalah TMA hasil simulasi model.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model JST memerlukan pelatihan untuk mengoptimasi bobot dari masing-masing input yang dilakukan melalui iterasi untuk meminimalkan eror antara target (data hasil pengukuran) dan keluaran model. Unjuk kerja model yang telah dioptimasi ini kemudian dievaluasi dengan seri validasi yang merupakan data seri yang sebelumnya tidak pernah digunakan untuk melatih model. Dengan pertimbangan tersebut maka hasil yang ditampilkan pada bagian ini merupakan keluaran model JST dari seri validasi.

a. Model JST-1; Input: tinggi pasang surut di muara

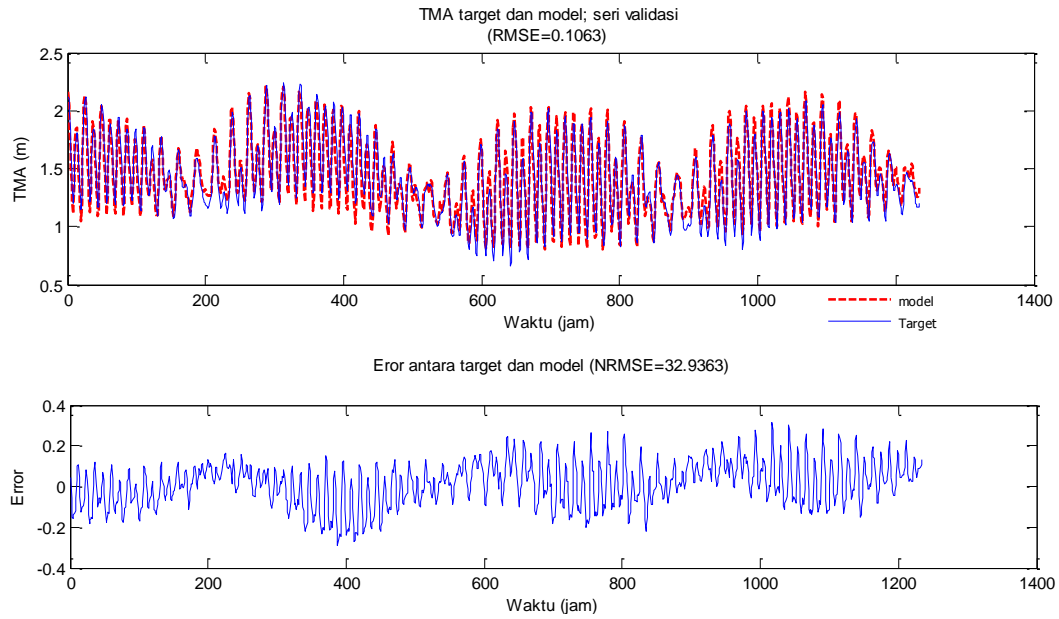
Model ini mempunyai struktur yang paling sederhana, hanya menggunakan prediksi tinggi pasang surut air laut dari TPXO dengan *time-lag* seperti disampaikan pada bagian Metode. Gambar 5 memperlihatkan perbandingan antara data hasil pengukuran dengan keluaran model. Sesuai input yang diberikan, model hanya berhasil mengikuti pola gelombang pasang surut.



Gambar 5. Perbandingan data hasil pengukuran (target) dengan keluaran Model JST-1.

a. Model JST-2; Input: tinggi pasang surut di muara dan TMA Muara Muntai

Dengan penambahan input data dari hulu, model sudah mulai dapat menangkap dinamika TMA di Tenggarong yang merupakan kombinasi antara proses yang berlangsung pada DAS di bagian hulu dan perambatan gelombang pasang air laut (Gambar 6). Error antara target dan keluaran model mulai berkurang, akan tetapi masih relatif besar. Salah satu faktor yang diduga menjadi penyebab masih tingginya error ini adalah pendeknya seri pelatihan sehingga belum merepresentasikan secara penuh dinamika tinggi muka air musiman dari DAS Mahakam bagian hulu dari Tenggarong.

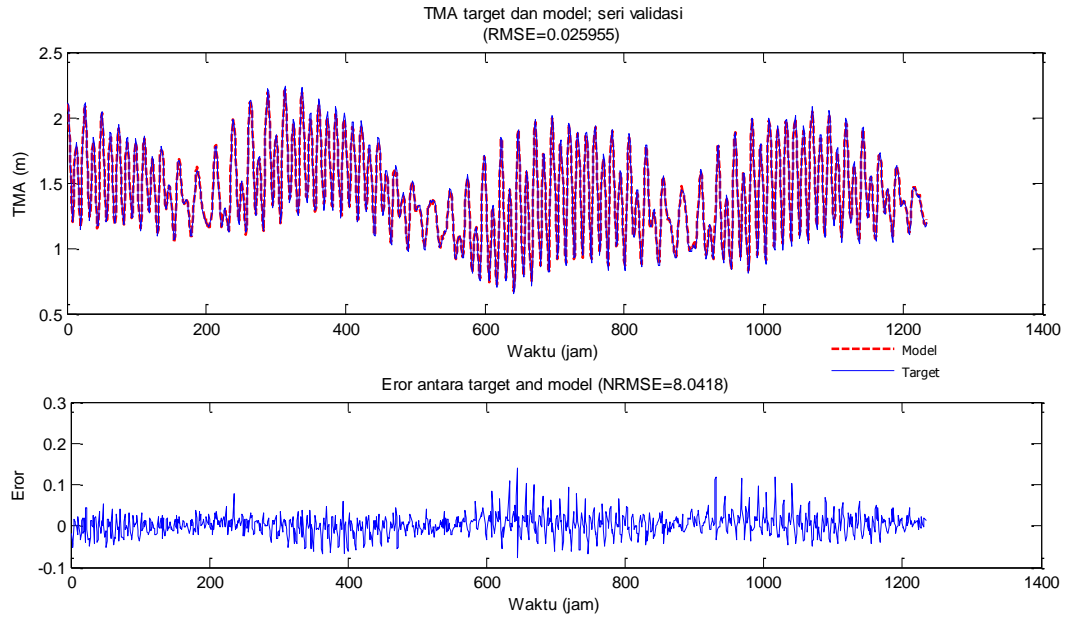


Gambar 6. Perbandingan data hasil pengukuran (target) dengan keluaran Model JST-2.

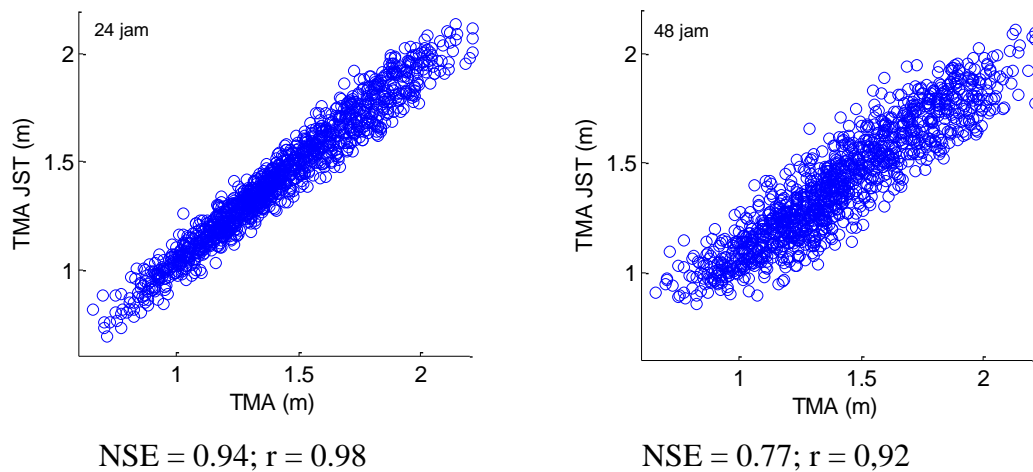
b. Model JST-3; Input: tinggi pasang surut di muara, TMA Muara Muntai, dan TMA historis Tenggarong

Model ini menggunakan data historis TMA di Tenggarong sebagai komponen input. Penggunaan data historis pada lokasi target merupakan praktek yang umum dilakukan pada pemodelan menggunakan JST seperti pada Lee *et al.* (2003), Jeong *et al.* (2006), dan Hidayat *et al.* (2014). Perbaikan unjuk kerja model dipelihatkan dengan semakin rendahnya eror antara target dan keluaran model (Gambar 7). Evaluasi model berdasarkan nilai korelasi (r) dan efisiensi model Nash-Sutcliffe (NSE) menunjukkan bahwa JST dapat memodelkan TMA dengan baik yang ditunjukkan dengan relatif konsistennya nilai r dan NSE selama periode pelatihan dan validasi, masing-masing dengan nilai > 0.9 .

Selanjutnya model JST-3 ini digunakan untuk memprediksi TMA beberapa jam/hari ke depan. Gambar 8 memperlihatkan perbandingan antara target dengan keluaran model JST-3 yang menunjukkan unjuk kerja model yang sangat baik dalam memprediksi TMA satu hari ke depan dengan NSE dan r masing-masing 0.94 dan 0.98. Untuk prediksi TMA dua hari ke depan diperoleh nilai NSE dan r masing-masing 0.77 dan 0.92.



Gambar 7. Perbandingan data hasil pengukuran (target) dengan keluaran Model JST-3.



Gambar 8. Scatterplot antara data hasil pengukuran (target) dengan keluaran Model JST-3 untuk prediksi TMA 1 dan 2 hari ke depan.

KESIMPULAN

Studi ini menunjukkan manfaat besar dari tersedianya data seri waktu, untuk pemodelan kondisi parameter kualitas dan kuantitas perairan antara lain dengan menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan (JST). Evaluasi model menunjukkan bahwa JST dengan data masukan berupa tinggi pasang surut dan TMA di daerah hulu dapat memodelkan TMA di Tenggarong dengan baik yang ditunjukkan dengan relatif konsistennya nilai r dan NSE selama periode pelatihan dan validasi, masing-masing

dengan nilai > 0.9 . Selanjutnya model JST dengan tambahan data masukan berupa TMA historis di stasiun Tenggarong dapat digunakan untuk memprediksi TMA di stasiun tersebut hingga dua hari ke depan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Ton Hoitink dan Ibu Gadis Sri Haryani selaku project leaders pada *East Kalimantan Project (EKP)* yang disponsori oleh *the Netherlands Organization for Scientific Research (NWO)* atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk terlibat dalam EKP. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Maximiliano Sassi, Bart Vermeulen, Unggul Handoko, dan Fajar Setiawan atas kerjasamanya selama survey lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Egbert, G. D., and Erofeeva, S. Y. (2002). Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides. *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 19(2), 183–204.
- Govindaraju, R. S. (2000). “Artificial neural networks in hydrology. II: Preliminary Concepts.” *J. Hydrol. Eng.*, 115–123.
- Hidayat (2013). Runoff, discharge and flood occurrence in a poorly gauged basin: The Mahakam River, Kalimantan. PhD Thesis. Wageningen University, Netherlands.
- Hidayat, F. Setiawan, U. Handoko, 2013. Morfometri dan Aliran air pada Sungai Dataran Rendah: Mahakam Segmen Tengah dan Hilir. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan MLI I*, Cibinong, 3 Desember 2013: 323-335.
- Hidayat, H., Hoitink, A.J.F., Sassi, M.G., and Torfs, P. (2014). Prediction of Discharge in a Tidal River Using Artificial Neural Networks., *J. Hydrol. Eng.*, doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000970.
- Jeong K.S., Kim, D.K., Joo, G.J. (2006). River phytoplankton prediction model by Artificial Neural Network: Model performance and selection of input variables to predict time-series phytoplankton proliferations in a regulated river system. *Ecological Informatics*, 1, 235 – 245.
- Lee, J.H.W., Huang, Y., Dickman M., Jayawardena A.W. (2003) Neural network modelling of coastal algal blooms, *Ecological Modelling*, 159, 179 – 201.
- Sassi, M.G. and Hoitink, A.J.F. (2013). River flow controls on tides and tide-mean water level profiles in a tidal freshwater river. *J. Geophys. Res.-Oceans*, 118, 4139–4151.

www.kutaikartanegara.com. (2013). Pasang Tertinggi Sungai Mahakam, Tenggorong Terendam Banjir, diakses: 15 September 2014.

www.antarakaltim.com. (2014). 880 Rumah di Tenggarong Terendam Banjir, diakses: 15 September 2014.