

Damanhuri, E.A., Y.I. Siregar, Elfizar
2020 : 14(1)

**PENERAPAN MODEL BERBASIS ARTIFICIAL NEURAL NETWORK UNTUK
MEMPREDIKSI KUALITAS AIR DI SUNGAI SUBAYANG KABUPATEN KAMPAR**

Endang Agus Damanhuri

Karyawan PT. Chevron Pacific Indonesia Jl. Rumbai Km. 2,5, Pekanbaru

Yusni Ikhwan Siregar

*Dosen Program Studi Magister Ilmu Lingkungan, Pascasarjana, Universitas Riau,
Pekanbaru, Jl. Pattimura No. 09 Gobah, Pekanbaru, 28131. Telp 0761-23742*

Elfizar

*Dosen Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Riau, Pekanbaru,
Kampus Bina Widya Km 12,5, Simpang Baru, Pekanbaru, 28293. Telp 0761-63266*

***Application Of Artificial Neural Network Model Based To Predict Water Quality
In Subayang River Kampar Regency***

Abstract

Water quality management is very important to do, because water is an inseparable part of everyday human life. Monitoring water quality is a way to maintain the quality of waters, especially rivers. River quality monitoring that is usually done requires a lot of equipment, effort and expertise so that its application becomes expensive and complicated. Technology that is growing rapidly nowadays puts forward artificial intelligence as the backbone of the Industrial Revolution 4.0 which promises many conveniences for industry and government. One of artificial intelligence technology is machine learning with Artificial Neural Network algorithm which is commonly used to predict or forecast a future value. This artificial neural network can be used to help monitor river water quality. The objective of this research to develop Artificial Neural Networks (ANN) model to predict the paramater of river quality (DO, pH, turbidity, temperature, water flow, conductivity) in the Subayang River, Kampar Regency, using software Rapidminer. The performance of the ANN models was evaluated using root mean squared error (RMSE) and correlation squared (R2) as a second comparison, then the results of the testing implementation are compared with direct measurements in the field. With the RMSE values obtained in the test results of each parameter DO = 1.613, pH = 0.098, turbidity = 4.730, temperature = 0.493, water flow = 0.121 and conductivity = 0.909. The lower the RMSE level, the closer it is to Artificial Neural Network accuracy for value prediction.

Key Words: Artificial Neural Network, water quality prediction, Sungai Subayang, Artificial Intelligence

PENDAHULUAN

Sungai merupakan aliran air tawar yang sumber alamiah, yang mengalir dari tempat tinggi ke tempat yang lebih rendah dan bermuara ke laut, danau atau sungai yang lebih besar. Arus aliran bagian hulu sungai memiliki aliran yang lebih deras dibandingkan dengan arus sungai di bagian hilir. Seringkali aliran sungai memiliki bentuk berkelu-liku akibat terjadinya proses pengikisan dan pengendapan di sepanjang sungai (Asdak, 2010).

Sungai Subayang adalah salah satu sungai yang berada di Kabupaten Kampar dan merupakan sub DAS dari Sungai Kampar Kiri. Secara administrasi Sungai Subayang masuk ke dalam kawasan Suaka Marga Satwa Bukit Rimbang Bukit Baling. Panjang Sungai Subayang mencapai 90 km memiliki berbagai manfaat bagi masyarakat, mulai dari fungsi ekonomi, transportasi, sosial budaya hingga untuk mandi, cuci dan kakus. Sebagai jalur transportasi air, Sub DAS Subayang merupakan jalur penting bagi masyarakat untuk akses antar desa yang terdapat di sepanjang sungai tersebut. Aktivitas masyarakat yang sebagian besar memanfaatkan Sungai Subayang tentunya akan berdampak terhadap biota dan kualitas sungai tersebut (Syuhada *et al*, 2017).

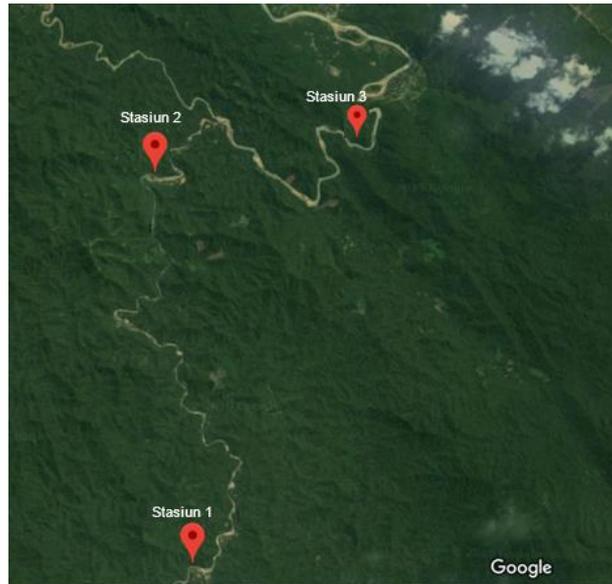
Dalam Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air, bahwa pencemaran air didefinisikan sebagai masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak berfungsi sesuai peruntukannya.

Kecerdasan buatan yang menjadi penggerak revolusi industri yang saat ini masuk pada era ke 4, yang telah menghasilkan perubahan peradaban secara signifikan. Saat ini revolusi industri keempat yang sering juga disebut revolusi digitalisasi kembali menyeruak dengan jaringan sibernya. Selain itu mesin-mesin dan komputer mulai diambil alih oleh kecerdasan buatan atau artificial intelligence (AI). Jika dulunya manusia yang banyak menggunakan pikirannya, kini giliran mesin atau komputer yang banyak berpikir dengan kecerdasan buatanya untuk menggantikan atau membantu pekerjaan manusia (Haqqi *et al*, 2019). Lebih dari itu kecerdasan buatan dapat menginterpretasikan dan memprediksi suatu kondisi atau kejadian tertentu, sebagaimana teknologi *machine learning* dengan algoritma *Artificial Neural Network* (ANN) sudah mulai diimplementasikan untuk memprediksi suatu kondisi atau kejadian. *Artificial Neural Network* (ANN) yang merupakan representasi buatan dari otak manusia yang selalu mencoba mensimulasikan proses pembelajaran pada otak manusia tersebut, istilah buatan di sini digunakan karena jaringan syaraf ini diimplementasikan dengan menggunakan program komputer yang mampu menyelesaikan sejumlah proses perhitungan selama proses pembelajaran (Kusumadewi, 2003).

Upaya membantu strategi pengelolaan sumber daya air dengan teknologi pada pemantauan kualitas air sungai dapat dilakukan dengan penerapan prediksi parameter kualitas air sungai menggunakan algoritma *Artificial Neural Network* dengan *software Rapidminer*, untuk mendapatkan hasil yang lebih cepat, efektif, akurat, murah, dan berdaya guna tinggi. Penerapan *Artificial Neural Network* dilakukan untuk memprediksi parameter kualitas air Sungai Subayang yaitu DO, pH, kekeruhan, suhu, aliran air dan konduktivitas. Penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan alternatif lain dalam pengelolaan dan pemantauan kualitas air sungai menggunakan data historikal untuk memprediksi kualitas air sungai melalui kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan dilakukan di Sungai Subayang, Kecamatan Kampar Kiri Hulu Kabupaten Kampar Riau, pada bulan Maret 2019 hingga April 2019. Gambar 1 menunjukkan lokasi titik pantau dilakukan di tiga stasiun monitoring kualitas air WWF Indonesia, pada hulu sungai di Desa Aur Kuning, tengah Sungai di Desa Batu Sanggan dan hilir sungai di Desa Tanjung Belit.



Gambar 1. Peta Lokasi Stasiun Monitoring Pengukuran Sampel Sungai Subayang

Pendekatan pada penelitian ini menggunakan deskriptif kuantitatif dan dengan metode survei (Yusuf, 2017) peneliti menggambarkan bagaimana dengan menerapkan kecerdasan buatan menggunakan algoritma *Artificial Neural Network* dapat memprediksi kualitas perairan Sungai Subayang menggunakan data historikal kualitas air selama tiga tahun, sehingga diketahui kondisi terkini perairannya. Hasil prediksi tersebut divalidasi keakuratannya dengan metode perhitungan kesalahan yaitu RMSE (*roort mean square*) dan R2 (*R-squared*).

Tabel 1. Metode Perhitungan Kesalahan

Metode	Formula	Rentang nilai
Root Mean Square Error (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} (y_i - \hat{y}_i)^2}$	0 - ~ (0.0 adalah nilai paling akurat)
R2/Coefficient of Determination/Squared Correlation	$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=0}^{n-1} (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=0}^{n-1} (y_i - \bar{y})^2}$	~ - 1.0 (1.0 adalah nilai paling akurat)

Sumber : Sarkar (2015)

Keterangan:

- n = nilai prediksi
- y_t = nilai aktual pada waktu t
- \hat{y}_t = nilai ramalan pada waktu t

Menggunakan *software Rapidminer versi 9.5* model *Artificial Neural Network* dibangun dengan data yang akan dibagi dua bagian, bagian pertama digunakan sebagai data training sebanyak 80% dari total data dan yang lainnya untuk data testing sebesar 20% (Zhang, 1998). Kemudian dengan melakukan optimasi pada nilai parameter ANN yaitu *hidden layer* dan *learning rate*. Kombinasi nilai-nilai parameter tersebut diujikan pada model *artificial neural network*, dan diperoleh nilai *hidden layer size* dan *learning rate* yang memberikan hasil akurasi dan prediksi yang optimal.

Penelitian ini juga menghitung indeks pencemaran dari nilai prediksi yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan nilai indeks pencemaran dari pengukuran langsung. Metode indeks pencemaran (*pollution index*) sesuai Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 115 Tahun 2003. Perhitungan indeks pencemaran dilakukan dengan menggunakan persamaan seperti dibawah ini.

$$PI_j = \sqrt{\frac{(C_i/L_{ij})_M^2 + (C_i/L_{ij})_R^2}{2}}$$

Keterangan:

PI_j = Indeks Pencemaran bagi peruntukan (j)

C_i = Konsentrasi parameter kualitas air hasil pengukuran

L_{ij} = Konsentrasi parameter kualitas air (i) yang dicantumkan dalam baku mutu peruntukan air (j)

(C_i/L_{ij})_M = Nilai C_{ij}/L_{ij} maksimum

(C_i/L_{ij})_R = Nilai C_{ij}/L_{ij} rata-rata

Selain itu dilakukan juga wawancara pada masyarakat yang berada di tiga desa pada stasiun pengukuran yang telah ditetapkan dalam penelitian ini. Responden yang dipilih berdasarkan *random sampling*, untuk mengetahui keterkaitan perilaku masyarakat terhadap kualitas air Sungai Subayang yang dijadikan objek pada penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

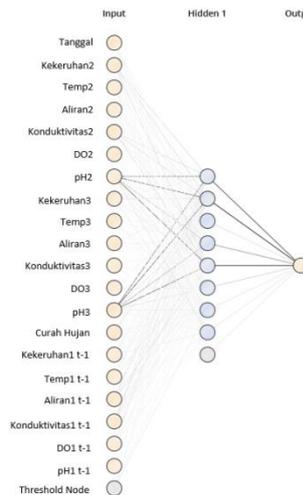
Parameter pertama yang dimodelkan dari kualitas perairan Sungai Subayang adalah pH, peneliti mensimulasikan *size* pada *hidden layer* agar didapatkan *size* terbaik. Dengan jumlah *hidden layer* sebanyak 1, dilakukan percobaan pada *hidden layer sizes* dengan *range* 1 sampai dengan 20 *sizes*, dan disimulasikan untuk mendapatkan nilai *training cycles* terbaik, yaitu dengan mencoba memasukan secara berurutan nilai dengan *range* 10 sampai 200 dengan *step* 10. Nilai untuk *learning rate* dan *momentum* sesuai *default* dari *Rapidminer* masing-masing 0,01 dan 0,9. Berikut hasil eksperimen untuk mendapatkan *size* pada *hidden layer* yang akan digunakan dalam pemodelan ini.

Tabel 2. Akurasi Terbaik Simulasi Neural Network di Rapidminer Prediksi Parameter pH

Hidden Layer Sizes	Training Cycle	Learning Rate	Momentum	Train RMSE	Train Squared Correlation /R2	Test RMSE	Test Squared Correlation /R2
8	90	0.01	0.9	0.101	0.975	0.098	0.982

Berdasarkan *setting* model terbaik seperti pada Tabel 2, didapatkan arsitektur *Neural Network* hasil simulasi seperti pada Gambar 2, terdapat tiga *layer*, yaitu *Input layer* terdiri dari 20 simpul, dengan

19 jumlah atribut prediktor, dengan 6 parameter kualitas air yaitu DO, pH, kekeruhan, suhu, arus air dan konduktivitas dari 3 stasiun Sungai Subayang, ditambah 1 simpul *threshold* yang digunakan sebagai fungsi aktivasi untuk menentukan keluaran suatu *neuron*. Terdapat satu *hidden layer* yang terdiri dari 8 simpul ditambah 1 simpul bias. Bias dapat dipandang sebagai sebuah input yang nilainya selalu 1. Bias berfungsi untuk mengubah nilai *threshold* menjadi = 0. (Siang, 2009).



Gambar 2. *Neural Network* Prediksi Kualitas Air Sungai Subayang

Dengan menggunakan metode yang sama, peneliti melakukan simulasi untuk mendapatkan hasil prediksi parameter kualitas perairan Sungai Subayang yang lain untuk stasiun 1 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Simulasi *Neural Network* Prediksi Parameter Sungai Subayang

<i>Parameter</i>	<i>Hidden Layer Sizes</i>	<i>Training Cycles</i>	<i>Learning Rate</i>	<i>Momentum</i>	<i>Train RMSE</i>	<i>Train R2</i>	<i>Test RMSE</i>	<i>Test R2</i>
DO	20	30	0,01	0,9	0,745	0,900	1,613	0,646
ph	8	90	0,01	0,9	0,101	0,975	0,098	0,982
Kekeruhan	13	230	0,01	0,9	2,021	0,967	4,730	0,575
Suhu	19	70	0,01	0,9	0,327	0,917	0,493	0,844
Aliran	15	120	0,01	0,9	0,068	0,827	0,121	0,648
Konduktivitas	19	90	0,01	0,9	0,726	0,947	0,909	0,840

Pengukuran langsung di lapangan untuk mendapatkan kualitas air Sungai Subayang yang terkini pada tanggal 25 Oktober 2019 dari tiga titik stasiun pemantauan, dapat dilihat pada Tabel 4. Rata-rata hasilnya menunjukkan kualitas baik dan sesuai dengan baku mutu.

Tabel 4. Hasil Pengukuran *In-situ* Kualitas Air Sungai Subayang.

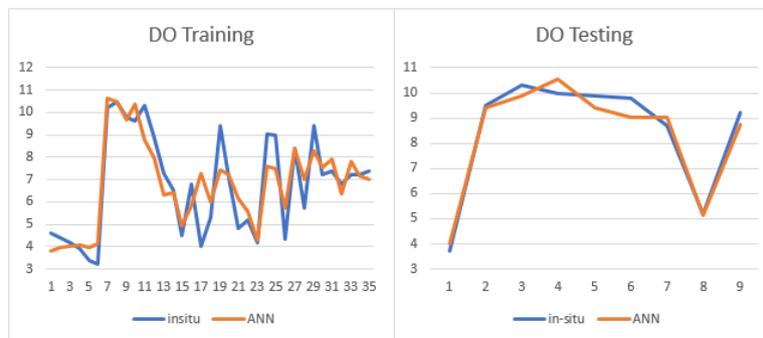
No	Parameter	Baku Mutu (Normal)	Stasiun		
			I. Desa Aur Kuning	II. Desa Batu Sanggan	III. Desa Tanjung Belit
1	DO (mg/l)	> 4	9,2	9,1	9,1
2	pH	6-9	6,5	6,5	6,1
3	Kekeruhan (NTU)	-	10,53	10,63	11,84
4	Suhu	28-30	25,5	26,3	26,1
5	Kecepatan Aliran Air	-	0,36	0,41	0,3
6	Konduktivitas	-	15,8	16,3	12,8

Keterangan: Baku mutu berdasarkan PP No. 82 tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air (Kelas II)

Berdasarkan hasil pemodelan dengan algoritma *Artificial Neural Network*, secara lengkap hasil prediksi yang didapatkan dari enam parameter kualitas air Sungai Subayang sebagai berikut:

a. *Disolved Oxygen (DO)*

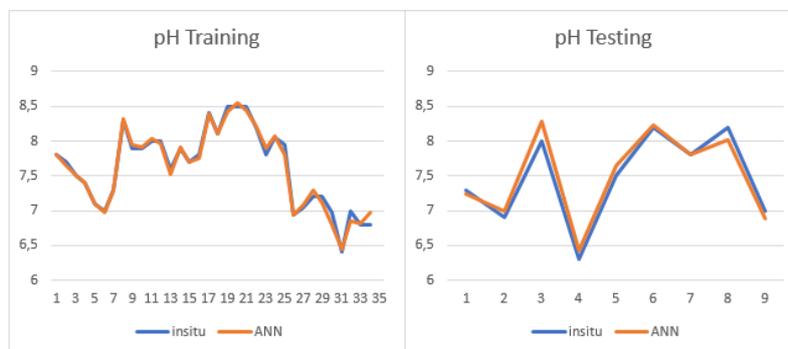
Nilai kandungan oksigen terlarut (DO) hasil prediksi pada stasiun I nilainya tidak jauh berbeda dengan nilai pengukuran *in-situ* bila kita lihat dari hasil *training* dan *testing* menggunakan algoritma *Artificial Neural Network (ANN)* dapat dilihat Gambar 3, hasil pengukuran *training* ANN dan menunjukkan nilai 8,63 mg/l dan hasil pengukuran langsung Bulan Oktober 2019 adalah 9,2 mg/l.



Gambar 3. Data DO *Training* dan *Testing* dibandingkan Pengukuran *In-situ*

b. Derajat Keasaman (pH)

Hasil prediksi terlihat sangat mirip dengan hasil pengukuran *in-situ* pada pH, hal ini dapat dilihat dari pola grafik *training* maupun *testing* pada Gambar 4. yang dihasilkan dari pemodelan ANN dan dibandingkan data *in-situ*, angka prediksi pH menunjukkan 6,64. Dan angka pengukuran langsung Bulan Oktober 2019 adalah 6,5.

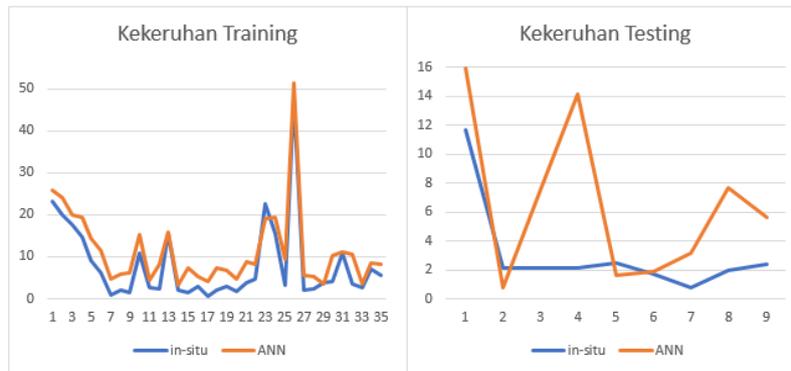


Gambar 4. Grafik Data Prediksi pH dibandingkan Pengukuran *In-situ*

c. Kekeruhan

Pada Gambar 5 adalah gambaran hasil *training* dan *testing* pemodelan ANN untuk kekeruhan pada stasiun 1 di Sungai Subayang. Secara pola grafik bila melihat hasil *training* tidak terlihat pola yang mirip dengan data *in-situ*. Pengujian kesalahan dengan RMSE pada Tabel 3, nilai yang diperoleh

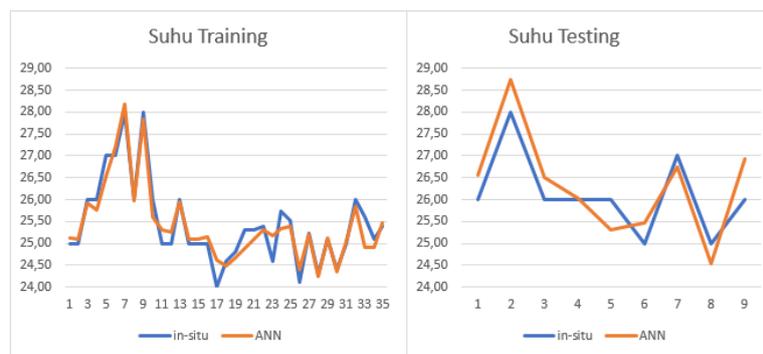
4,73, cukup berbeda dari hasil pemodelan ANN seperti parameter lain. Namun pada implementasinya didapatkan nilai prediksi kekeruhan 11,84 dan tidak jauh dengan nilai pengukuran langsung Bulan Oktober 2019 yaitu 10,53.



Gambar 5. Grafik Data Prediksi Kekeruhan dibandingkan Pengukuran *In-situ*

d. Suhu

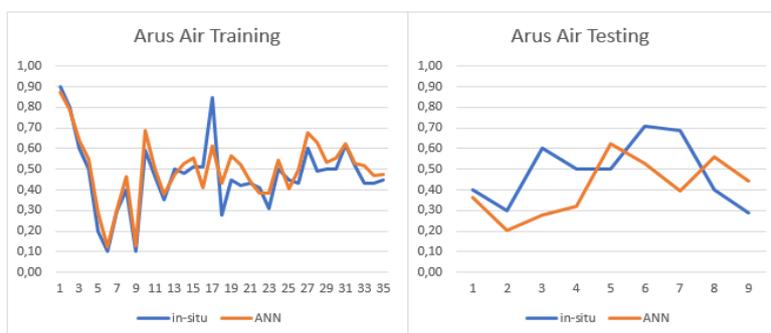
Hasil pemodelan untuk prediksi suhu di stasiun I di Desa Aur Kuning, sangat mendekati nilai pengukuran langsung. Pada grafik data *training* dan *testing* Gambar 6, perbandingan pengukuran langsung dengan prediksi *neural network* untuk parameter pH perbedaannya relatif kecil. Hasil prediksi adalah 25,35°C. Apabila dibandingkan dengan hasil pengukuran langsung yaitu 25,5°C. Hasil inipun mengacu pada baku mutu PP No. 82 Tahun 2001, kedua nilai tersebut masuk dalam kategori cukup baik nilainya di atas 4mg/l.



Gambar 6. Grafik Data Prediksi Suhu dibandingkan Pengukuran *In-situ*

e. Kecepatan Aliran Air

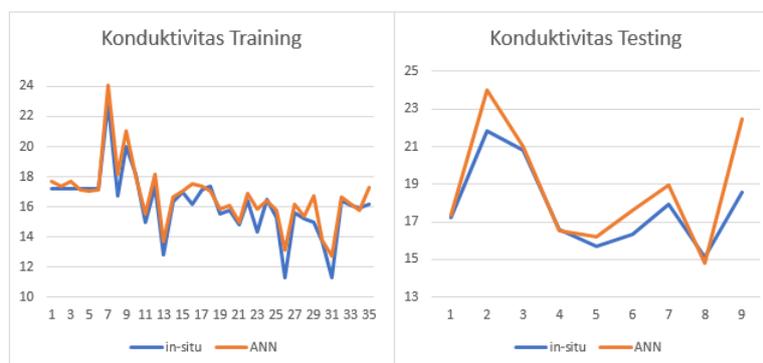
Pada Gambar 7 hasil *training* dan *testing* untuk kecepatan aliran air menunjukkan hasil yang mendekati dengan pengukuran langsung. Implementasinya tidak jauh berbeda dengan hasil pengukuran *in-situ* yang nilainya 0,36 m/det dan hasil implementasi prediksi untuk Bulan Oktober 2019 didapatkan nilai 0,35 m/det.



Gambar 7. Grafik Data Prediksi Arus Air dibandingkan Pengukuran *In-situ*

f. Konduktivitas

Hasil data *testing* dan *training* pada Gambar 8 dibawah dari hasil pemodelan ANN untuk memprediksi konduktivitas dengan membandingkan hasil pengukuran langsung, dapat kita lihat pola grafiknya sangat mirip. Hasil implementasi prediksi ANN untuk konduktivitas air Sungai Subayang Bulan Oktober 2019 hasilnya 15,8 μ s, sama persis dengan nilai pengukuran langsung yaitu 15,8 μ s.



Gambar 8. Grafik Prediksi Konduktivitas dibandingkan Pengukuran *In-situ*

Secara keseluruhan apabila kita perbandingkan kedua hasil yang didapatkan tersebut, nilai prediksi menggunakan ANN memiliki hasil yang mendekati dengan nilai yang diukur secara *in-situ*. Peneliti menghitung standar deviasi dan *Mean Absolute Error* (MAE) dengan cara mencari selisih antara nilai pengukuran *in-situ* dengan nilai prediksi menggunakan algoritma *Neural Network* yang kemudian semua hasilnya dirata-ratakan. Pada Tabel 5 ini menunjukkan statistik unjuk kerja dari pemodelan menggunakan algoritma *Neural Network* dibandingkan pengukuran *in-situ*.

Tabel 5. Statistik Unjuk Kerja Pemodelan ANN dan Pengukuran *in-situ*

No	Parameter	Training		Testing	
		Rata-Rata Kesalahan Mutlak	Standar Deviasi Kesalahan Mutlak	Rata-Rata Kesalahan Mutlak	Standar Deviasi Kesalahan Mutlak
1	DO (mg/l)	0,76	0,22	0,39	0,22
2	pH	0,05	0,69	0,12	0,08
3	Kekeruhan (NTU)	3,54	1,80	3,93	3,61
4	Suhu (°C)	0,21	0,18	0,52	0,27
5	Kecepatan Aliran	0,06	0,05	0,17	0,09
6	Konduktivitas	0,58	0,53	1,07	1,25

Berdasarkan hasil prediksi pemodelan menggunakan ANN dan pengukuran secara langsung pada kualitas air Sungai Subayang di stasiun 1, dari 6 parameter yaitu data kualitas Sungai Subayang, yang digunakan sebagai analisis indeks pencemar adalah oksigen terlarut (DO) dan derajat keasaman (pH). Analisis perbandingan nilai indeks pencemaran air Sungai dapat dilihat pada Tabel 6, nilai tersebut dapat dibidang hampir sama, dan keduanya masuk dalam kategori baik.

Tabel 6. Hasil Analisis Indeks Pencemaran Sungai Subayang pada Stasiun 1

No	Metode	Indeks	Keterangan
1	Hasil prediksi ANN	0,10	Baik
2	Hasil <i>in-situ</i>	0,09	Baik

Peneliti juga melakukan analisis perilaku pada masyarakat di sekitar bantaran Sungai Subayang untuk memahami lebih jauh kondisi serta aktivitas masyarakat terhadap perairan dan lingkungannya. Pengumpulan data dilakukan berdasarkan pembagian angket/kuisisioner yang diisi oleh masyarakat dari desa di 3 stasiun yang peneliti kunjungi dalam melaksanakan penelitian, yang daerahnya dialiri oleh Sungai Subayang.

Perilaku masyarakat yang tinggal di bantaran sungai, masih banyak yang membuang sampah dan aktivitas MCK di sungai, melakukan penebangan hutan yang mengakibatkan berkurangnya tutupan lahan, serta adanya penambangan pasir maupun batu di sungai, sangat besar pengaruh terhadap kualitas perairan Sungai Subayang, hal ini tentunya berpengaruh juga secara tidak langsung pada hasil pemodelan berbasis *Artificial Neural Network* untuk memprediksi kualitas perairan sungai. Disini yang paling terlihat pada hasil prediksi kekeruhan yang sudah dijelaskan oleh peneliti sebelumnya.

KESIMPULAN

Penerapan kecerdasan buatan untuk pemodelan dalam memprediksi kualitas perairan dengan algoritma *Artificial Neural Network* menggunakan aplikasi *Rapidminer 9.5* sangat baik dan mudah diterapkan. Hasil analisis kualitas air Sungai Subayang menunjukkan kedekatan nilai yang hampir sama antara prediksi dan pengukuran langsung, dengan melihat tingkat keakuratan menggunakan dua parameter yaitu RMSE dan R^2 dan, nilai RMSE angkanya antara 1 hingga mendekati 0, hanya pada nilai kekeruhan masih sedikit berbeda dengan pengukuran langsung,

RMSE yang didapatkan nilai 4, hal ini disebabkan oleh kualitas data dan faktor eksternal lain, namun secara umum didapatkan keakuratan hasil yang baik untuk memprediksi parameter kualitas perairan Sungai Subayang menggunakan algoritma *Artificial Neural Network*. Tingkat pencemaran di Sungai Subayang berdasarkan pengukuran *in-situ* dan perhitungan menggunakan pemodelan dengan algoritma *Artificial Neural Network* hasilnya sama-sama menunjukkan dalam kategori tergolong baik atau tidak tercemar, hingga tercemar ringan. Sikap masyarakat yang tinggal di bantaran Sungai Subayang pada 3 desa yaitu hulu sungai di Desa Aur Kuning, tengah Sungai di Desa Batu Sanggan dan hilir sungai di Desa Tanjung Belit, sebagian besar cukup positif dengan selalu mengatur pola hidup bersih namun masih sedikit yang menerapkannya dalam kehidupan sehari-hari, perilaku masyarakat masih banyak yang membuang sampah tidak pada tempatnya juga aktivitas MCK yang masih dilakukan di sungai dengan alasan ketersediaan sarana yang masih kurang dan juga karena telah menjadi kebiasaan, serta masih kurangnya kesadaran masyarakat akan perlunya menjaga lingkungan karena masih terjadi *illegal logging* dan masih adanya aktivitas penambangan, dan secara tidak langsung berpengaruh pada hasil prediksi kualitas air dalam hal ini hasil prediksi kekeruhan untuk pemodelan berbasis ANN perairan Sungai Subayang,

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada pembimbing dan dosen prodi ilmu lingkungan yang telah memberikan dukungan untuk penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada WWF Indonesia Program Central Sumatera yang telah mendukung serta memfasilitasi atas ketersediaan data untuk kesempurnaan hasil dan informasi pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. 2010. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Haqqi, H., Wijayati, H. 2019. Revolusi Industri 4.0 di Tengah Society 5.0. Quadrant. Yogyakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2003. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 Tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air. Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Kusumadewi, S. 2003. *Artificial Intelligence* (Teknik dan Aplikasinya). Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Jakarta.
- Sarkar, A., Pandey, P. 2015. *Modelling using Artificial Neural Network Technique*. Aquatic Procedia, 4: 1070-1077.
- Siang, J.J. 2009. Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya Menggunakan Matlab. Penerbit Andi. Yogyakarta.

- Syuhada. N. I., Suwondo, Fauziah, Y. 2017. Analisis Kualitas Perairan Sungai Subayang Berdasarkan Indeks Biotilik Sebagai Pengayaan Modul Mata Kuliah. Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Secara Terpadu 2017. Riau.
- Yusuf, M. 2017. Metode Penelitian: Kuantitatif, Kualitatif dan Penelitian Gabungan. Cetakan ke-4. Kencana. Jakarta.
- Zhang, G. P. 1998. *Forecasting with Artificial Neural Networks: The State of the Art*. Elsevier International Journal of Forecasting, 14(1): 35-62.

