

PENERAPAN JARINGAN SYARAF TIRUAN DALAM PENGKLASIFIKASIAN TINGKAT PENCEMARAN AIR SUNGAI DI RIAU DENGAN METODE LEARNING VECTOR QUANTIZATION (LVQ) 2.1

Yola yusman¹, Elvira asril², Ahmad zamsuri ³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Lancang
Kuning

^{1,2,3}Jl. Yos Sudarso KM. 8 Rumbai, Pekanbaru, Riau, telp. 0811 753 2015

e-mail: ¹ yolayolkha@gmail.com, elvira@unilak.ac.id, ahmadzamsuri@unilak.ac.id

Abstrak

Teknologi pada saat ini sudah berkembang sangat pesat tidak hanya sebagai penerapan dari sebuah ilmu pengetahuan secara praktis mengenai hal-hal teknis, namun sudah berkembang sebagai pondasi ilmu pengetahuan secara luas. Hal ini ditunjukkan dengan banyaknya ilmu yang didasari oleh teknologi. Salah satu contoh yaitu Penerapan Jaringan Syaraf Tiruan Dalam Pengklasifikasian Tingkat Pencemaran Air Sungai Dengan metode Learning Vector Quantization (LVQ) 2.1. Jaringan syaraf tiruan (JST) adalah salah satu bagian dari artificial intelligence. JST merupakan pengetahuan yang menirukan kinerja sel-sel syaraf manusia atau disebut syaraf biologis yang ada pada otak manusia. LVQ merupakan tahap pembelajaran pada lapisan kompetitif yang secara otomatis belajar untuk mengklasifikasikan vektor-vektor masukan. Sungai – sungai yang dikelola adalah sungai Induk di provinsi Riau dengan Parameter yang diinputkan ada sebanyak 12 sampel air. Keluaran dari sistem Kualitas Air ini berdasarkan kriteria klasifikasi pencemaran air yaitu: kelas baik sekali (memenuhi baku mutu), kelas baik (tercemar ringan), kelas sedang (tercemar sedang), dan kelas buruk (tercemar berat). Parameter yang digunakan pada proses pengujian yaitu learning rate 0.015, 0.025, 0.035, 0.045, 0.05, 0.060, 0.075, 0.085, 0.090, 0.1, pengurangan learning rate 0.005, minimal learning rate 0.01 dan window 0, 0.2, 0.4 dengan perbandingan data latih 90:10 menghasilkan akurasi 90% dan 80:20 menghasilkan akurasi 90%. Sehingga rata-rata akurasi pada proses pengujian adalah 90%. Berdasarkan hasil pengujian, nilai window = 0.4 lebih baik dari pada nilai window = 0.2 dan window = 0. Ini membuktikan bahwa hasil perhitungan LVQ 2.1 juga sangat dipengaruhi oleh nilai window yang digunakan.

Keywords: Jaringan Syaraf Tiruan, Polusi Air, Parameter, Akurasi, Perhitungan

Abstract

Technology on now develops very rapidly not only as the application of a science in practice on hal-, technical issues but has grown widely as the science, this is apparent from many of which are based on the technology. One example of that is the application of artificial neural network pengklasifikasian water pollution in the river by the learning vector quantization (lvq 2.1.jaringan) artificial neural (jst) is one part of an artificial intelligence. Jst knowledge sel-sel performance is similar to a human or biological called neurons in the human brain. In the learning stage lvq is competitive automatically learn to classify vektor-vektor. Input The run is the parent In the province of riau with parameters diinputkan there were as many as 12 water sample . Output of a system is based on the quality of water the water pollution classification criteria: Class good), (meet quality standards class good (), light polluted class and () was tainted and the bad (.) badly polluted Parameters used in the process of testing Learning, 0.015 rate 0.025, 0.035, 0.045,

0.05, 0.06, 0.075, 0.085, 0.090, 0.10, learning, 0.005 rate reduction at least learning rate 0, 0.01 and window 0.2, with comparative data training 0.4: 90 10 Producing 80 and 90 accuracy %: %. 20 produce 90 accuracySo rata-rata accuracy in the process of testing is 90 % .berdasarkan, testing results The window = 0.4 better than in the window = = 0. 0.2 and windowThis proves that the results of lvq 2.1 is highly influenced by the window used.

Keywords: Artificial Neural Networks, Water Pollution, Parameters, Accuracy, Calculations

1. PENDAHULUAN

Teknologi pada saat ini sudah berkembang sangat pesat tidak hanya sebagai penerapan dari sebuah ilmu pengetahuan secara praktis mengenai hal- hal teknis,namun sudah berkembang sebagai pondasi ilmu pengetahuan secara luas, Hal ini ditunjukkan dengan banyaknya ilmu yang didasari oleh teknologi .

Salah satu contoh yaitu Penerapan Jaringan Syaraf Tiruan Dalam Pengklasifikasian Tingkat Pencemaran Air Sungai Dengan metode Learning Vector Quantization (LVQ) 2.1. Jaringan syaraf tiruan (JST) adalah salah satu bagian dari *artificial intelegence*. JST merupakan pengetahuan yang menirukan kinerja sel-sel syaraf manusia atau disebut syaraf biologis yang ada pada otak manusia. LVQ merupakan tahap pembelajaran pada lapisan kompetitif yang secara otomatis belajar untuk mengklasifikasikan vektor-vektor masukan.[1]

Riau merupakan sebuah provinsi di Indonesia yang terletak ditengah pulau Sumatera. Provinsi ini terletak di bagian tengah pantai timur Pulau Sumatera, yaitu di sepanjang pesisir Selat Melaka. Sungai diriau dahulunya digunakan sebagai alat transportasi yang mana kapal-kapal besar melintasi sungai untuk mengangkut barang dan transportasi umum ke daerah lainnya, seperti didaerah lain dimana sungai berperan pada kehidupan masyarakat yang ada dibantaran sungai, kebutuhan sehari-hari seperti memasak, mandi, cuci, kakus dan banyak lagi hal-hal lainnya,masyarakat sepanjang bantaran sungai memanfaatkan sungai untuk kebutuhan sehari-hari dan untuk memenuhi kebutuhan ekonomi mereka.Parameter kualitas kesehatan air bersih ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 416/Menkes/Per/IX/1990 tentang pengawasan dan syarat – syarat kualitas air yang disebut sebagai air minum adalah air yang memenuhi syarat kesehatan yang dapat langsung diminum,seandainya yang disebut sebagai air bersih adalah air yang memenuhi syarat kesehatan yang harus dimasak terlebih dahulu sebelum diminum tetapi air sungai diriau tidak stabil baku mutunya akan tetapi masyarakat tidak mengetahui kualitas air yang digunakan untuk kebutuhannya. Penjelasan ini juga diperkuat dengan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/Menkes/SK/XI/2002 tentang persyaratan kesehatan lingkungan kerja perkantoran dan industri terdapat penjelasan tentang air bersih yaitu air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari dan kualitasnya memenuhi persyaratan kesehatan air bersih sesuai dengan peraturan perundang- undangan yang berlaku dan dapat diminum apabila dimasak.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengklasifikasi pencemaran air sungai adalah metode LVQ. LVQ memiliki beberapa variasi, salah satunya LVQ2.1. Perbedaan antara LVQ1, LVQ2, LVQ2.1 yaitu, pada algoritma LVQ dasar (LVQ1) vektor referensi yang paling dekat dengan vektor input saja yang diperbaharui. Sedangkan untuk variasi LVQ2, dua vektor (pemenang dan *runner- up*) diperbaharui jika beberapa kondisi dipenuhi. LVQ2.1 merupakan perkembangan atau lanjutan LVQ2. Dalam modifikasi disebut LVQ 2.1 [2] menjelaskan bahwa dua vektor referensi yang paling dekat dan untuk memperbaharui vektor ini adalah bahwa salah satu dari vektor tersebut termasuk kelas

yang benar dan vektor yang lainnya tidak termasuk ke dalam kelas tersebut. Algoritma LVQ2.1 memiliki kelemahan dimana vector perwakilan kemungkinan mengalami divergensi selama proses pembelajaran dilakukan. Melihat tingkat akurasi metode LVQ 2.1 lebih tinggi. Oleh karena itu penulis menggunakan varian dari algoritma LVQ yaitu LVQ 2.1 untuk mengetahui performansi metode tersebut dalam kasus pengklasifikasian tingkat pencemaran air sungai di Riau.

Penelitian yang dilakukan oleh [1] *Input*-an yang digunakan yaitu gejala-gejala penyakit stroke itu sendiri yang diambil berdasarkan gejala-gejala stroke pada sistem pakar. Sedangkan *output*-nya terdiri dari enam kelas yaitu TIA (*Transient Ischemic Attack*), RIND (*Reversible Ischemic Neurologic Deficits*), Stroke Progresif, Stroke Komplet, Hemoragik *Interaserebral* dan Hemoragik *Subaraknoid*. Pengujian pada penelitian ini dilakukan dengan dua cara yaitu pengujian berdasarkan LVQ.1 dan pengujian berdasarkan pohon inferensi. Pada pengujian berdasarkan metode LVQ2.1 dapat mengenali pola dengan persentase 100 % dengan nilai parameter pembelajaran algoritma *learning rate* 0.015 sampai dengan 0.1, pengurangan *learning rate* 0.005, minimal *learning rate* 0.01, dan nilai *window* (ϵ) = 0, 0.3, dan 0.4, sedangkan rata-rata persentase yang didapat dengan pengujian berdasarkan pohon inferensi yaitu 80%.

Penelitian yang dilakukan oleh [2] hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan metode *Learning Vector Quantization 2.1* mampu mengenali pola dengan sangat baik dengan persentase akurasi mencapai 100 % dengan 135 data latih. Nilai parameter yang digunakan adalah *learning rate* (α) = 0.025, 0.035, 0.075, 0.085 pengurangan *learning rate* (α) = 0.05 minimal *learning rate* (α) = 0.01 dan nilai *window* (ϵ) = 0, 0.3, 0.4.

Penelitian yang dilakukan [3] Data gejala penyakit retardasi mental yang digunakan adalah 14 gejala, dan jenis penyakit retardasi mental sebagai output diagnosa adalah ringan, sedang, berat, dan sangat berat. Dari 122 data penyakit retardasi mental, pembagian data latih dan data uji adalah 80 % data latih dan 20 % data uji, kemudian menggunakan 60 % data latih dan 40 % data uji. Nilai parameter *learning rate* digunakan bervariasi, yaitu 0.015, 0.025, 0.035, 0.045, 0.05, 0.060, 0.075, 0.085, 0.090, 0.1, pengurangan *learning rate* 0.005, minimal *learning rate* 0.01 dan *window* 0, 0.2 dan 0.4. Sehingga perbandingan 80:20 lebih bagus menghasilkan akurasi 97% semakin banyak data latih yang digunakan maka tingkat keakurasian menjadi semakin tinggi dan Nilai rata-rata akurasi pengujian mencapai 94 %, dengan demikian metode LVQ 2.1 dapat diterapkan dan pola data gejala dapat dikenali untuk diagnosa penyakit retardasi mental. Berdasarkan pengujian *blackbox*, aplikasi dapat beroperasi sesuai harapan.

Penelitian yang dilakukan [4] implementasi LVQ untuk klasifikasi air sungai diawali dengan tahapan pembagian dataset, pelatihan mutu, tercemar ringan, sedang dan berat. Hasil akurasi rata - rata terbaik didapatkan sebesar 81,13% dengan menggunakan alfa 0, 1, decrement alfa 0,4, perbandingan data latih dan data uji 100:35 dari total 135 dataset, maksimal epoch 10 dan minimal epoch 0,001.

Berdasarkan latar belakang permasalahan di atas maka penelitian ini menggunakan metode LVQ 2.1 untuk memproses data pencemaran air sungai di Riau, sehingga dapat diketahui tingkat akurasi penerapan metode ini dalam mengklasifikasi tingkat pencemaran air sungai di Riau, kemudian diterapkan ke dalam sebuah sistem. Sistem yang akan dibangun nantinya akan membantu badan lingkungan hidup maupun orang awam yang membutuhkan. Keluaran dari sistem yang akan dibangun berupa tingkat pencemaran yaitu : baku mutu, tercemar ringan, tercemar sedang, tercemar berat.

2. METODE PENELITIAN

Dalam metodologi penelitian, dijelaskan mengenai uraian analisa tentang permasalahan, dimana uraian tersebut diselesaikan sesuai dengan urutan yang sudah ditentukan.

1. **Pengamatan Pendahuluan**

Pengamatan pendahuluan merupakan tahapan untuk dapat menemukan permasalahan pencemaran air. Pengamatan pendahuluan dilakukan dengan mencari referensi-referensi dari buku, internet, jurnal maupun dari penelitian yang sudah diteliti sebelumnya yang berhubungan dengan pencemaran air dan penentuan masalah yang akan dibahas.

a. Menentukan Masalah

Hal pertama yang dilakukan adalah menentukan permasalahan yang akan diteliti dari pengamatan yang dilakukan, lalu mengambil permasalahan tersebut menjadi topik penelitian.

b. Menentukan Tujuan

Kemudian penulis menentukan tujuan dilakukannya penelitian ini

c. Menentukan Ruang Lingkup

Tahap Selanjutnya adalah tahap menentukan ruang lingkup yaitu, Menentukan batasan masalahnya

2. **Pengumpulan Data**

Sebelum melakukan pengumpulan data, dilakukan studi pustaka terlebih dahulu. Studi pustaka bertujuan untuk mencari teori-teori pendukung dalam pemecahan masalah dalam penelitian yang dilakukan serta mencari penelitian yang berkaitan dengan kasus yang diangkat dalam penelitian yang akan dilakukan

Studi pustaka dilakukan dengan mengambil informasi dari buku-buku yang berkaitan dengan penelitian, membaca jurnal penelitian terdahulu, dan referensi lainnya sehingga dapat membantu dan sebagai penunjang dalam penyelesaian penelitian yang akan dilakukan. Data pencemaran air diambil dari Dinas Badan lingkungan hidup (BLH) Pekanbaru.

3. **Analisa system**

Setelah dilakukan pengumpulan data maka selanjutnya adalah analisa sistem. Yang terbagi dari analisa data, analisa metode, dan analisa fungsional

1. Analisa Data

Berikut adalah penjelasan mengenai bagian analisa data dalam system klasifikasi tingkat pencemaran air sungai

a. Data Latih

Data latih merupakan data yang digunakan pada metode LVQ 2.1 yang diolah sebagai pembelajaran. Jumlah data latih yang digunakan yaitu 280 data pencemaran air sungai diriau

b. Data uji

Data uji adalah yang digunakan untuk menguji system yang sebelumnya telah diterapkan pembelajaran data sehingga melalui pengujian didapatkan akurasi metode LVQ 2.1. Jumlah data uji yang digunakan yaitu 20 data pencemaran air sungai diriau.

4. **Analisa Metode**

Berikut adalah penjelasan mengenai bagian analisa metode dalam sistem klasifikasi tingkat pencemaran air sungai :

a. Normalisasi Data

Normalisasi data bertujuan menyesuaikan data latih (training) dan data uji (testing) sebelum masuk ke proses pelatihan. Setiap data dinormalisasi sehingga berada pada range $[0,1]$ dengan menggunakan persamaan (2.11).

5. **Perancangan Sistem**

Setelah tahap analisa sistem selesai dilakukan, maka dilakukan tahapan perancangan sistem. Tahapan perancangan sistem terdiri dari:

- a. Tahapan rancangan database, merupakan tahap perancangan tabel dan atribut yang dibutuhkan.
 - b. Tahapan User Interface atau antarmuka pengguna yang merupakan suatu rancangan struktur menu dan tampilan untuk sistem deteksi pencemaran air sungai
6. **Implementasi dan Pengujian**
Setelah dilakukan perancangan sistem maka tahapan selanjutnya adalah implementasi dan pengujian.

1. Pengujian

Pengujian (*testing*) yaitu uji coba apakah tingkat diagnosa sesuai yang sebenarnya atau tidak. Pengujian ini terbagi menjadi:

- a. Pengujian berdasarkan jumlah data latih dan parameter α , *Learning rate* (α) adalah tingkat pembelajaran. Window (ϵ) merupakan nilai yang digunakan sebagai daerah yang harus dipenuhi untuk memperbaharui vektor referensi pemenang dan *runner-up* jika berada dikelas yang berbeda.
- b. Pengujian berdasarkan jumlah data latih. Pengujian selanjutnya yang dilakukan adalah berdasarkan jumlah data latih menggunakan perbandingan data 80:20, 90:10. karena metode pelatihan jaringan saraf tiruan LVQ bersifat terawasi yang sangat dipengaruhi oleh pola-pola pelatihan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Sistem

Analisa merupakan suatu pembahasan untuk memahami permasalahan yang terdapat dalam suatu penelitian. Analisa yang dilakukan dalam penelitian ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman yang tepat dan akurat terhadap masalah data, proses dan semua hal yang terkait pada penelitian. Analisa membahas segala yang berhubungan cara kerja sistem yang sedang berjalan. Pada penelitian ini akan menerapkan sebuah algoritma jaringan saraf tiruan variasi *learning vector quantization 2.1* (LVQ 2.1) untuk mengklasifikasikan tingkat pencemaran air sungai riau dengan 12 parameter pencemaran air sebagai masukan sistem. Adapun ke 12 parameter tersebut adalah : Jumlah zat padat tersuspensi (TSS), PH, BOD, COD, DO, fosfat (P), Nitrat (NO_3), Amoniak (NH_3), Nitrit (NO_2), Belerang (H_2S), Fecal coliform (FC), Total coliform (TC). Sedangkan keluaran terdiri atas 4 kelas tingkat pencemaran pada pencemaran air sungai, yaitu baku mutu, tercemar ringan, tercemar sedang, tercemar berat. Data yang digunakan sebagai input adalah data pencemaran air sungai riau di badan lingkungan hidup (BLH) Provinsi Riau. Selanjutnya data masukan tersebut akan dilakukan proses pembelajaran untuk klasifikasi pada pencemaran air sungai dengan algoritma LVQ 2.1. Setelah data tersebut dilatih, akan diperoleh bobot-bobot akhir (W). Bobot-bobot ini nantinya akan digunakan untuk dilakukan pengujian dari beberapa buah data uji sehingga diperoleh ketepatan hasil pengujian tersebut dengan target yang sebenarnya.

3.2 Analisa data

Pada tahapan analisa, akan dibutuhkan data penelitian untuk menyelesaikan permasalahan penentuan tingkat pencemaran air sungai riau menggunakan algoritma *Learning Vektor Quantization 2.1* (LVQ 2.1). Adapun proses bagian dalam analisa data adalah pembagian data. Pembagian data dilakukan untuk proses klasifikasi dengan menggunakan metode *Learning Vektor Quantization 2.1* (LVQ 2.1) dengan membagi *training* (data latih) dan *testing* (data uji). Adapun jumlah data keseluruhan (data latih dan data uji) yang digunakan pada penelitian ini adalah 280 data pencemaran air sungai riau, dimana terdiri dari 63 data baku mutu, 63 data cemar ringan, 63 data cemar sedang, 63

data cemar berat. Pada proses pengujian data latih menggunakan perbandingan data 90:10, 80:20.

a. Data latih

training (data latih) dilakukan dengan membagi data pencemaran air sungai yaitu data baku mutu, data cemar ringan, data cemar sedang, data cemar berat. Dimana jumlah *training* (data latih) yang digunakan adalah 252 (90% data latih) data pencemaran air sungai riau yaitu terdiri dari 63 data baku mutu, 63 data cemar ringan, 63 data cemar sedang dan 63 data cemar berat. Data pencemaran air sungai riau ini yang menjadi data *training* (data latih), akan dinormalisasi dan dijadikan acuan untuk proses klasifikasi dalam penentuan kelas pencemaran air sungai riau.

b. Data uji

Data *testing* (data uji) yaitu data diuji pada sistem untuk penyesuaian klasifikasi data pencemaran air sungai terhadap data latih. Tujuan dilakukan pengujian ini yaitu untuk menentukan tingkat akurasi. proses klasifikasi Penentuan data uji data pencemaran air sungai dibagi menjadi data baku mutu, data cemar ringan, cemar sedang dan cemar berat. Jumlah data uji yang dipergunakan adalah 28 (10% data uji) data pencemaran air sungai diriau, yaitu 7 data baku mutu, 7 data cemar sedang, 7 data cemar sedang dan 7 data cemar berat.

c. Data masukan

Analisa data masukan adalah suatu analisa yang data-data dimasukan kedalam sistem yang bertujuan untuk memperoleh pemahaman sistem secara keseluruhan, tentang sistem yang akan berjalan sehingga permasalahan dapat dipecahkan dan kebutuhan pemakai sistem dapat terpenuhi

Tabel 1 Keterangan Variabel Masukan

Variabel	Satuan Nilai	Keterangan
X ₁	Tersuspensi (TSS)	(mg/l)
X ₂	PH	PH
X ₃	BOD	(mg/l)
X ₄	COD	(mg/l)
X ₅	DO	(mg/l)
X ₆	Fosfat (P)	(mg/l)
X ₇	Nitrat (NO ₃)	(mg/l)
X ₈	Amoniak (NH ₃)	(mg/l)
X ₉	Nitrit (NO ₂)	(mg/l)
X ₁₀	Belerang (H ₂ S)	(mg/l)
X ₁₁	Fecal Coliform	(mg/l)
X ₁₂	Total Coliform	(mg/l)

3.3 Analisa Metode

Analisa metode *Learning Vector Quantization 2.1* (LVQ2.1) dimulai dengan normalisasi data masukan atau variabel yang bertujuan untuk mendapatkan data dengan nilai yang lebih kecil (kisaran 0 sampai 1) yang mewakili nilai data asli tanpa menghilangkan nilai dari data asli tersebut. Pada penjelasan sebelumnya telah dijelaskan bahwa metode LVQ 2.1 tergantung pada jarak antara vektor input dengan vektor bobot dari masing-masing kelas dan vektor input tersebut akan masuk ke dalam kelas yang memiliki jarak terdekat. Oleh karena itu, agar dapat dikenali oleh jaringan LVQ, data pada variabel masukan harus diubah ke dalam bentuk numerik. Hasil dari normalisasi tersebut akan dijadikan acuan untuk proses klasifikasi dengan menggunakan *Learning Vector Quantization 2.1* (LVQ 2.1).

a. Normalisasi Data

Pada perhitungan jarak *euclidean*, atribut berskala panjang dapat mempunyai pengaruh lebih besar dari pada atribut berskala pendek. Oleh sebab itu, untuk mencegah hal tersebut perlu dilakukan normalisasi terhadap nilai atribut menjadi kisaran 0 sampai 1. Proses normalisasi tersebut menggunakan persamaan 2.12. Tabel 2 merupakan contoh data pencemaran air sungai riau dengan 4 kelas yakni Baku mutu, tercemar ringan, Tercemar sedang dan Tercemar berat.

Tabel 2 Contoh Data Pencemaran Air Sungai Riau Yang Digunakan Pada Penelitian

No	Variabel	Kelas Sungai					
		1	2	3	4	1	2
1	X1	8	15	62	20	17	22
2	X2	8,00	5,1	6,46	6,62	6,20	7,30
3	X3	0,5	4,412	10,46	27,21	0,8	1,01
4	X4	2,5	27,25	38,37	89,80	1,6	19,2
5	X5	2,00	1,09	1,02	1,71	1,10	2,5
6	X6	0,030	0,039	0,03	0,927	0,014	0,24
7	X7	3,500	4,607	10,91	0,700	1,900	20,02
8	X8	0,15	0,102	3,990	5,753	0,25	0,023
9	X9	0,025	0,116	0,288	0,015	0,040	0,022
10	X10	0,0007	0,021	0,01	0,108	0,0018	0,012
11	X11	25	1167	14000	94000	24	5200
12	X12	100	10000	82000	240000	170	17900

Proses normalisasi untuk Tabel 1 diatas adalah sebagai inisialisasi bobot dan data latih yang akan digunakan juga proses normalisasi menggunakan persamaan 2.12. Kemudian data tersebut akan dijadikan untuk inisialisasi bobot dan data latih yang disajikan pada tabel 3

Tabel 3 Contoh Hasil Normalisasi Data Pencemaran Air Sungai Riau

No	Variabel	Kelas Sungai					
		Inisialisasi Bobot (Vektor W)				Data Latih (Vektor X)	
		1	2	3	4	1	2
1	X1	0.05714	0.0672	0.0597	0.5299	0.0299	0.0821
2	X2	0.05714	0.5754	0.5578	0.8389	0.8536	0.9854
3	X3	0.05714	0.0050	0.0188	0.0210	0.0002	0.0042
4	X4	0.05714	0.0074	0.0114	0.0198	0.0002	0.0104
5	X5	0.05714	0.1511	0.5650	0.5589	0.2885	0.0000
6	X6	0.05714	0.0246	0.0523	0.5055	0.1521	0.0325
7	X7	0.05714	0.0862	0.1320	0.0889	0.0400	0.0862
8	X8	0.05714	0.0071	0.1042	0.6414	0.0006	0.0015
9	X9	0.05714	0.1103	0.0163	0.0163	0.0326	0.0911
10	X10	0.05714	0.0261	0.0598	0.0511	0.0010	0.0323
11	X11	0.05714	0.0123	0.0190	0.1914	0.0001	0.0123
12	X12	0.05714	0.0401	0.1414	0.9716	0.0000	0.0348

3.4 Perhitungan Menggunakan Metode *Learning Vector Quantization 2.1* (LVQ 2.1)

Pada proses diagnosa nilai hasil normalisasi yang berbentuk numerik akan dijadikan acuan untuk menetapkan tingkat pencemaran air di riau dan sebagai tahapan proses LVQ2.1 dalam menentukan kelas dari data uji. Tahapan pada contoh perhitungan

dalam proses pembelajaran (data latih) dengan metode LVQ2.1 dalam klasifikasi tingkat pencemaran air adalah sebagai berikut.

1. Menetapkan parameter awal metode Parameter yang digunakan yaitu :
 - a. *Learning Rate* (α) = 0.015
 - b. Pengurangan *Learning Rate* = 0.0015
 - c. Minimal *Learning Rate* (min α) = 0.01
 - d. Nilai window (ϵ) = 0.2
2. Menentukan input pertama pada data pencemaran air sungai riau yang akan dijadikan sebagai inisialisasi bobot (vektor W)

Tabel 4 Contoh Data Input (Vektor W) Pada Data Air Sungai Riau

No	Variabel	Inisialisasi Bobot (Vektor W)			
		Kelas Sungai			
		1	2	3	4
1	X1	0.0149	0.0672	0.0597	0.5299
2	X2	1.0000	0.5754	0.5578	0.8389
3	X3	0.0005	0.0050	0.0188	0.0210

No	Variabel	1	2	3	4
4	X4	0.0005	0.0074	0.0114	0.0198
5	X5	0.2885	0.1511	0.5650	0.5589
6	X6	0.0174	0.0246	0.0523	0.5055
7	X7	0.0641	0.0862	0.1320	0.0889
8	X8	0.0105	0.0071	0.1042	0.6414
9	X9	0.0230	0.1103	0.0163	0.0163
10	X10	0.0007	0.0261	0.0598	0.0511
11	X11	0.0001	0.0123	0.0190	0.1914
12	X12	0.0000	0.0401	0.1414	0.9716

3. Menentukan data pencemaran air untuk data latih (vektor X)

Tabel 5 perhitungan yang digunakan data pencemaran air sungai riau. dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5 Pencemaran air untuk data latih (vektor X)

No	Variabel	Data latih (Vektor X)	
		Kelas Sungai	
		1	2
1	X1	0.0299	0.0821
2	X2	0.8536	0.9854
3	X3	0.0002	0.0042
4	X4	0.0002	0.0104
5	X5	0.2885	0.0000
6	X6	0.1521	0.0325
7	X7	0.0400	0.0862
8	X8	0.0006	0.0015
9	X9	0.0326	0.0911
10	X10	0.0010	0.0323
11	X11	0.0001	0.0123
12	X12	0.0000	0.0348

4. Lakukan perhitungan data latih pada Epoch 1/iterasi 1.

Proses perhitungan data latih (proses pembelajaran) ini bertujuan untuk mencari jarak terdekat dari masing-masing kelas. Contoh proses perhitungan dapat dilihat sebagai berikut, dimulai dari data latih ke-1 dengan menggunakan rumus 2.1 (perhitungan jarak *euclidean*).

0.05714, 0.00057, 0.00048, 0.28852, 0.01743, 0.06405, 0.01056, 0.03371, 0.00071, 0.00075, 0.00012, 0.00000 → Data latih ke-1

0.12143, 0.73646, 0.00091, 0.00023, 0.15257, 0.00475, 0.03203, 0.01759, 0.05478, 0.00212, 0.00011, 0.00025 → Bobot

T = 1

Bobot ke-1

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{(0.12143 - 0.05714)^2 + (0.73646 - 0.00000)^2 + (0.00091 - 0.00057)^2 +} \\
 &\quad + (0.00023 - 0.00048)^2 + (0.15257 - 0.28852)^2 + (0.00475 - 0.01743)^2 \\
 &\quad + (0.03203 - 0.06405)^2 + (0.01759 - 0.01056)^2 + (0.05478 - 0.03371)^2 \\
 &\quad + (0.00212 - 0.00075)^2 + (0.00011 - 0.00012)^2 + (0.00025 - 0.00000)^2} \\
 &= \sqrt{2.308277} \\
 &= 1.519301
 \end{aligned}$$

Bobot ke-2

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{(0.12143 - 0.10714)^2 + (0.73646 - 0.57540)^2 + (0.00091 - 0.00504)^2 + \\
 &\quad (0.00023 - 0.00738)^2 + (0.1527 - 0.15106)^2 + (0.00475 - 0.02456)^2 \\
 &\quad + (0.03203 - 0.08621)^2 + (0.01759 - 0.007118)^2 + (0.05478 - 0.16152)^2 \\
 &\quad + (0.00212 - 0.02610)^2 + (0.00011 - 0.01227)^2 + (0.00025 - 0.3475)^2} \\
 &= \sqrt{2.296306} \\
 &= 1.515357
 \end{aligned}$$

Bobot ke-3

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{(0.12143 - 0.44286)^2 + (0.73646 - 0.77452)^2 + (0.00091 - 0.01194)^2 + \\
 &\quad (0.00023 - 0.01048)^2 + (0.15257 - 0.14048)^2 + (0.00475 - 0.01743)^2 \\
 &\quad + (0.03203 - 0.21237)^2 + (0.01759 - 0.28079)^2 + (0.05478 - 0.40309)^2 \\
 &\quad + (0.00212 - 0.01236)^2 + (0.00011 - 0.14881)^2 + (0.00025 - 0.28747)^2} \\
 &= \sqrt{2.72549} \\
 &= 1.65091
 \end{aligned}$$

Bobot ke-4

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{(0.12143 - 0.14286)^2 + (0.73646 - 0.797957)^2 + (0.00091 - 0.03107)^2 + \\
 &\quad (0.00023 - 0.02482)^2 + (0.15257 - 0.24471)^2 + (0.00475 - 0.72821)^2 \\
 &\quad + (0.03203 - 0.00801)^2 + (0.01759 - 0.40486)^2 + (0.05478 - 0.01966)^2 \\
 &\quad + (0.00212 - 0.13472)^2 + (0.00011 - 1.00000)^2 + (0.00025 - 0.84205)^2} \\
 &= \sqrt{1.84543} \\
 &= 1.358466
 \end{aligned}$$

Jarak terkecil adalah pada bobot ke 1 (C=1)= 0.201424, target kelas data latih =1. T=C.
maka perbaharui bobot ke - 1 dengan persamaan .

$$\begin{aligned}
 W_1(\text{baru}) &= (0.12143, 0.73646, 0.00091, 0.00023, 0.15257, 0.00475, 0.03203, 0.01759, \\
 &\quad 0.05478, 0.00212, 0.00011, 0.00025) + 0.015 \{ (0.05714, 0.00057, 0.00048, \\
 &\quad 0.28852, 0.01743, 0.06405, 0.01056, 0.03371, 0.00071, 0.00075, 0.00012, \\
 &\quad 0.00000) - (0.12143, 0.73646, 0.00091, 0.00023, 0.15257, 0.00475, 0.03203, \\
 &\quad 0.01759, 0.05478, 0.00212, 0.00011, 0.00025) \} \\
 &= 0.015, 0.998, 0.001, 0.0005, 0.298, 0.019, 0.064, 0.01, 0.023, 0.001, 0.0001, 0
 \end{aligned}$$

$$W_1(\text{baru}) = 0.015, 0.998, 0.001, 0.0005, 0.298, 0.019, 0.064, 0.01, 0.023, 0.001, 0.0001, 0$$

Bobot ke-2 sampai bobot ke-4 tidak berubah. Kemudian lanjut kepada data latih ke-2 dengan rumus (perhitungan jarak *euclidean*).

Data latih ke 2 adalah

0.0821, 0.9854, 0.0042, 0.0104, 0, 0.0325, 0.0862, 0.0015, 0.0911, 0.0323, 0.0123, 0.0348

T = 2

Bobot ke-1

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{(0.12144 - 0.73646)^2 + (0.00091 - 0.998)^2 + (0.0042 - 0.001)^2 + \\
 &\quad (0.0104 - 0.0005)^2 + (0 - 0.289)^2 + (0.0325 - 0.019)^2 + \\
 &\quad (0.0862 - 0.064)^2 + (0.0015 - 0.01)^2 + (0.0911 - 0.023)^2 \\
 &\quad + (0.0323 - 0.001)^2 + (0.0123 - 0.0001)^2 + (0.0348 - 0)^2} \\
 &= \sqrt{0.09572049} \\
 &= 0.309387281
 \end{aligned}$$

Bobot ke-2

$$= \sqrt{(0.0821 - 0.0672)^2 + (0.9854 - 0.5754)^2 + (0.0042 - 0.005)^2 + (0.0104 - 0.0074)^2 + (0 - 0.1511)^2 + (0.0325 - 0.0246)^2 + (0.0862 - 0.0862)^2 + (0.0015 - 0.0071)^2 + (0.0911 - 0.1103)^2 + (0.0323 - 0.0261)^2 + (0.0123 - 0.0123)^2 + (0.0348 - 0.0401)^2}$$

$$= \sqrt{0.191644073}$$

$$= 0.437772$$

Bobot ke-3

$$= \sqrt{(0.0821 - 0.0597)^2 + (0.9854 - 0.5578)^2 + (0.0042 - 0.0188)^2 + (0.0104 - 0.0114)^2 + (0 - 0.5650)^2 + (0.0325 - 0.0523)^2 + (0.0862 - 0.1320)^2 + (0.0015 - 0.1042)^2 + (0.0911 - 0.0163)^2 + (0.0323 - 0.0598)^2 + (0.0123 - 0.0190)^2 + (0.0348 - 0.1414)^2}$$

$$= \sqrt{0.533455799}$$

$$= 0.730381$$

Bobot ke-4

$$= \sqrt{(0.0821 - 0.5299)^2 + (0.9854 - 0.8389)^2 + (0.0042 - 0.0210)^2 + (0.0104 - 0.0198)^2 + (0 - 0.5589)^2 + (0.0325 - 0.5055)^2 + (0.0862 - 0.0889)^2 + (0.0015 - 0.6414)^2 + (0.0911 - 0.0163)^2 + (0.0323 - 0.0511)^2 + (0.0123 - 0.1914)^2 + (0.0348 - 0.9716)^2}$$

$$= \sqrt{2.083648813}$$

$$= 1.443485$$

Jarak terkecil adalah bobot ke-1. (C = 1) = 0.308927. Target data latih adalah 2, Sehingga C≠T. Dan cek jarak terdekat kedua apakah jarak kedua sesuai target, Maka periksa apakah jarak *runner-up* masih masuk dalam window (ε) dengan persamaan rumus.

D₁ (Jarak terdekat pertama) = 0.308927 dan D₂ (Jarak terdekat kedua) = 0.437772

$$= \text{Min} \left[\frac{0.308927}{0.437772}, \frac{0.437772}{0.308927} \right] > 1 - 0.4$$

Dan

$$\text{Max} \left[\frac{0.308927}{0.437772}, \frac{0.437772}{0.308927} \right] < 1 + 0.4$$

$$= \text{min} [0.70568, 1.4171] > 0.6 \text{ and } \text{max} [0.70568, 1.4171] < 1.4$$

= T and F

= F

Nilainya adalah *False*. Kedua bobot (W) dengan jarak terkecil (W₂ dan W₁) diperbarui dengan ketentuan :

Vektor W yang tidak termasuk kedalam kelas yang sama dengan vektor X akan diperbaharui dengan rumus

$$W_2(\text{baru}) = (0.0672, 0.5754, 0.0050, 0.0074, 0.1511, 0.0246, 0.0862, 0.0071, 0.1103, 0.0261, 0.0123, 0.0401) - (0.015 \cdot 0.2) \{ (0.0821, 0.9854, 0.0042, 0.0104, 0, 0.0325, 0.0862, 0.0015, 0.0911, 0.0323, 0.0123, 0.0348) - (0.0672, 0.5754, 0.0050, 0.0074, 0.1511, 0.0246, 0.0862, 0.0071, 0.1103, 0.0261, 0.0123, 0.0401) \}$$

$$= 0.0672, 0.5766, 0.0050, 0.0074, 0.1506, 0.0246, 0.0862, 0.0071, 0.1102, 0.0261, 0.0123, 0.0401$$

$$W_2(\text{baru}) = 0.0672, 0.5766, 0.0050, 0.0074, 0.1506, 0.0246, 0.0862, 0.0071, 0.1102, 0.0261, 0.0123, 0.0401$$

Maka dihasilkan :

$$W_2(\text{baru}) = 0.0672, 0.5766, 0.0050, 0.0074, 0.1506, 0.0246, 0.0862, 0.0071, 0.1102, 0.0261, 0.0123, 0.0401$$

Selanjutnya dilakukan hingga kondisi minimal *learning rate* ($\min \alpha$) terpenuhi. Setelah diperoleh bobot akhir pada proses pembelajaran maka bobot tersebut digunakan dalam proses pengujian (*testing*). Algoritma proses pengujian ini dimulai dengan memasukkan data yang akan diuji dan bobot akhir yang didapat, kemudian menghitung jarak terdekatnya untuk selanjutnya dicari nilai atau bobot yang paling kecil. Jika bobot terkecil tersebut sesuai dengan target maka proses pengujian benar, jika tidak maka pengujian tersebut tidak akurat.

Berikut adalah contoh perhitungan pengujian :

Data Uji : 0.1443, 1, 0.0001, 0.0003, 0.1324, 0.0047, 0.0300, 0.0028, 0.0163, 0.0007, 0.00105, 0.00004

Tentukan target = 1. Target digunakan untuk melihat kesesuaian antara target dan hasil perhitungan oleh sistem. Jika target dan perhitungan oleh sistem hasilnya sama, maka perhitungan sistem akurat. Kemudian hitung jarak *euclidean* antara vektor input (data uji) dan bobot (W) .

Bobot ke-1

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{(0.13433 - 0.10736)^2 + (1.00000 - 0.8806)^2 + (0.00011 - 0.0011593)^2 +} \\
 &\quad (0.00040 - 0.001412)^2 + (0.12236 - 0.286512)^2 + (0.00475 - 0.02958)^2 + \\
 &\quad (0.03002 - 0.079801)^2 + (0.00281 - 0.003072)^2 + (0.01630 - 0.015214)^2 + \\
 &\quad (0.00062 - 0.0004275)^2 + (0.00005 - 0.00147639)^2 + (0.00005 - 0.000050)^2} \\
 &= \sqrt{0.045022616} \\
 &= 0.21218533525313
 \end{aligned}$$

Bobot ke-2

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{(0.13433 - 0.142873)^2 + (1.00000 - 0.594637)^2 + (0.00011 - 0.0142285)^2 +} \\
 &\quad (0.00040 - 0.013408)^2 + (0.12236 - 0.273238)^2 + (0.00475 - 0.0304719)^2 + \\
 &\quad (0.03002 - 0.142053)^2 + (0.00281 - 0.0069341)^2 + (0.01630 - 0.075209)^2 + \\
 &\quad (0.00062 - 0.0471913)^2 + (0.00005 - 0.0155467)^2 + (0.00005 - 0.0064119)^2} \\
 &= \sqrt{0.206674592} \\
 &= 0.45461477299393
 \end{aligned}$$

Bobot ke-3

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{(0.13433 - 0.404031)^2 + (1.00000 - 0.731919)^2 + (0.00011 - 0.0032253)^2 +} \\
 &\quad (0.00040 - 0.0070966)^2 + (0.12236 - 0.388238)^2 + (0.00475 - 0.059525)^2 + \\
 &\quad (0.03002 - 0.24039)^2 + (0.00281 - 0.0802019)^2 + (0.01630 - 0.0314292)^2 + \\
 &\quad (0.00062 - 0.0152491)^2 + (0.00005 - 0.0770945)^2 + (0.00005 - 0.0463337)^2} \\
 &= \sqrt{0.277118006} \\
 &= 0.52641998986349
 \end{aligned}$$

Bobot ke-4

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{(0.13433 - 0.419767)^2 + (1.00000 - 0.670774)^2 + (0.00011 - 0.101304)^2 +} \\
 &\quad (0.00040 - 0.0887968)^2 + (0.12236 - 0.532228)^2 + (0.00475 - 0.304048)^2 + \\
 &\quad (0.03002 - 0.0588287)^2 + (0.00281 - 0.628298)^2 + (0.01630 - 0.135024)^2 + \\
 &\quad (0.00062 - 0.0691695)^2 + (0.00005 - 0.363335)^2 + (0.00005 - 0.111179)^2} \\
 &= \sqrt{1.020674577} \\
 &= 1.0102844042601
 \end{aligned}$$

Jarak terkecil terdapat pada bobot ke-1, yaitu 0.21218533525313. Sehingga hasil perhitungan pengujian termasuk pada kelas ke-1 (baku mutu). Sebelumnya telah ditentukan target = 1, dan hasil pengujian oleh sistem juga menunjukkan pada kelas ke-1. Artinya pengujian oleh sistem akurat sesuai target.

5. Implementasi

Implementasi merupakan langkah membuat sistem kualitas air sungai berdasarkan aturan yang dibuat pada analisa metode, analisa sistem dan perancangan sistem. Dengan berdasarkan tahap analisa maka pengerjaan sistem dapat terkontrol dan tidak keluar dari aturan batasan yang telah ditentukan. Sedangkan tahap pengujian merupakan langkah melakukan proses tes pada sistem kualitas air sungai riau yang sudah dibangun untuk melihat fungsi yang ditampilkan oleh antarmuka maupun metode yang berjalan dalam sistem. Dari pengujian ini maka dapat dilihat kelemahan atau kekurangan yang masih terdapat pada sistem sehingga dapat dilakukan perbaikan untuk mengatasi permasalahan yang terjadi pada sistem kualitas air sungai.

1. Tampilan Menu Utama Admin

Setelah admin melakukan login dan berhasil masuk kedalam sistem kualitas air sungai, maka halaman yang pertama kali ditampilkan untuk admin adalah menu *beranda*. Gambar 2 berikut adalah tampilan *beranda*.



Gambar 1 Tampilan Menu Utama Admin

2. Tampilan Menu utama kualitas air sungai riau

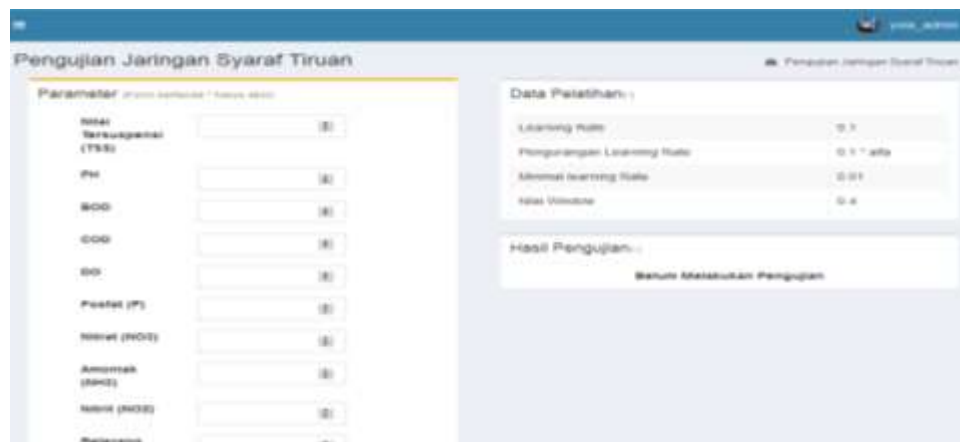
Menu utama pakar adalah tampilan yang pertama muncul ketika pakar berhasil masuk kedalam sistem kualitas air sungai riau. Gambar 2 adalah tampilan menu pada akses pakar



Gambar 2 Tampilan Menu Utama Pakar

3. Menu Pengujian

Melalui menu pengujian pakar dapat mengetahui jenis kualitas air sungai riau yang sedang dialami, dengan cara memasukan nilai gejala yang telah di ukur sampel yang tersedia pada pengujian. Gambar 3 berikut adalah tampilan *pengujian* kualitas air sungai riau pada pengguna pakar.



Gambar 3 Tampilan menu Pengujian (pakar)

4. KESIMPULAN

Setelah melalui proses perancangan, analisa, implementasi dan pengujian, dapat diambil kesimpulan pada penelitian aplikasi jaringan syaraf tiruan *Learning Vector Quantization* 2.1 untuk Pengklasifikasian tingkat pencemaran air sungai di riau sebagai berikut :

1. Sebuah sistem Jaringan Syaraf Tiruan untuk Pengkalsifikasian tingkat Pencemaran air di Riau dengan menggunakan metode Learning Vector Quantization 2.1, berhasil dibangun sehingga mempermudah proses perhitungan Kualitas Air.
2. Parameter yang digunakan pada proses pengujian yaitu learning rate 0.01 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09, 0.10, pengurangan learning rate 0.005, minimal learning rate 0.01 dan window 0, 0.2, 0.3, 0.4 dengan perbandingan data latih 90:10 menghasilkan akurasi 90%
3. Berdasarkan hasil pengujian,nilai window = 0.4 lebih baik dari pada nilai window = 0.2, window 0,3 dan window = 0. Ini membuktikan bahwa hasil perhitungan LVQ 2.1 dipengaruhi oleh nilai window yang dipakai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suri, Gustina. 2016. "Diagnosa Penyakit Cerebrovascular Disease (CVD) atau Stroke Menggunakan Metode Learning Vector Quantization 2.1 Berdasarkan Nilai Ketidak Pastian Sistem Pakar". Jurusan Teknik Informatika UIN Suska Riau.
 - [2] Agustina, Susanti. 2016. "Metode Learning Vector Quantization 2.1 Untuk Klasifikasi Tingkat Keparahan Penyakit Infeksi Saluran Pernapasan Akut". Jurusan Teknik Informatika UIN Suska Riau.
 - [3] Hamidi, Ridwan, dkk. 2017. "Implementasi Learning Vector Quantization (LVQ) Untuk Klasifikasi Kualitas Air Sungai". Universitas Brawijaya.
 - [4] Kusumadewi, Sri, , Membangun Jaringan Syaraf Tiruan Menggunakan Matlab & Excel Link. Graha Ilmu. 2004
 - [5] Hermawan, 2006, JST mampu mengenali kegiatan dengan berbasis masa lalu.
 - [6] Keputusan Menteri Lingkungan Hidup nomor : 115/MenLH/2003 tahun 2003, tentang indeks pencemaran air.
 - [7] Keputusan Menteri Lingkungan Hidup nomor : 1405/Menkes/SK/XI/2002 tahun 2002, tentang Persyaratan kesehatan lingkungan kerja perkantoran dan industri.
 - [8] Kusumoputro, 2001, Menjelaskan tentang elemen neourun.
 - [9] Muzamil, 2010, Menjelaskan Tentang Air Sungai.
-

- [10] Nugroho, 2011, Menjelaskan perhitungan menggunakan jaringan syaraf tiruan LVQ2.
- [11] Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor : 416/Menkes/Per/IX/1990, Tentang pengawasan dan syarat – syarat kualitas air yang disebut sebagai air minum.
- [12] Puspitaningrum, D, 2006, Pengantar Jaringan Saraf Tiruan. Yogyakarta: Andi.
- [13] Rahimi, M. R. 2016. “Penerapan *Algoritma Learning Vector Quantization* Dalam Pengklasifikasian Tingkat Pencemaran Air Sungai”. Jurusan Teknik Informatika STIMIK AMIKOM. Yogyakarta.
- [15] Siang, J. J. 2005. Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya Menggunakan *Matlab*. Penerbit Andi : Yogyakarta.
- [16] Suhendri, Yogi. 2017. “Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Diagnosa Gejala Awal Gangguan Retradas Mental Menggunakan LVQ 2.1”. Jurusan Teknik Informatika UIN Suska Riau.
- [17] Sulistyorini, Ari. 2009. BSE Biologi untuk SMA kelas X.Jakarta: Depdiknas.
- [18] Wuryandri, 2012 Menjelaskan soma atau badan sel perhitungan $||X-W||$ dan yang bertindak sebagai akson atau keluaran adalah Y.
- [19] Yustisia, Difla, 2010, “Jaringan Syaraf Tiruan *Learning Vector Quantization* Untuk Aplikasi Pengenalan Tannda Tangan (LVQ) 2.1”. Jurusan Teknik Informatika Universitas Islam Indonesia.



Prosiding- SEMASTER: Seminar Nasional Teknologi Informasi & Ilmu Komputer is licensed under a [Creative Commons Attribution International \(CC BY-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)