

Sistem Pakar Otomatisasi Baku Mutu Limbah Pertambangan Nikel Menggunakan Algoritma Supervised Mechine

Komang Aryasa¹⁾, Wilem Musu²⁾

Stmik Dipanegara Makassar

Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 09 Makassar, Telp : 0411 587194

e-mail : aryuh09@gmail.com¹⁾, wilem0708musu@gmail.com²⁾

Abstrak

Metode buka tutup pintu pembuangan limbah secara manual berdasarkan hasil uji laboratorium membutuhkan waktu yang relatif lama. Karena untuk menutup kembali pintu pembuangan limbah harus menunggu hasil uji labaratorium, sementara limbah terus mengalir. Bisa jadi ketika hasil uji laboratorium menyatakan proses pembuangan harus dihentikan, limbah yang tidak memenuhi standar kelayakan sudah ikut terbuang. Hasil uji kelayakan buang menjadi tidak valid karena terdapat rentang waktu dari pengambilan sampel limbah yang akan diuji sampai dengan keputusan penghentian pembuangan limbah. Penelitian ini bertujuan membuat alat detektor atau sensor kandungan unsur logam dalam air limbah pertambangan nikel sehingga pengukuran secara real-time (real-time measurement) dapat diimplementasikan ketika detektor/sensor logam dihubungkan dengan aplikasi analisis kelayakan buang limbah pertambangan nikel. Aplikasi bekerja setelah menerima data dalam bentuk nilai-nilai kandungan unsur yang dikirim oleh detektor/sensor yang mendeteksi kadar kandungan unsur dalam air limbah. Data tersebut kemudian di analisis menggunakan algoritma supervised mechine untuk menentukan kelayakan pembuangan limbah. Hasil penelitian sistem pakar yang dirancang dapat menentukan standar baku mutu kelayakan buang limbah secara terotomatisasi.

Kata Kunci : Sistem Pakar, detektor/sensor, Standar Baku Mutu Limbah, Otomatisasi Pertambangan Nikel, Algoritma Supervised Mechine.

Abstract

Methods of waste disposal open the closed door manually based on the results of laboratory tests require a relatively long time. Due to close the back door waste disposal must wait for test results labaratorium, while sewage continues to flow. It may be that when laboratory test results stating the disposal process should be stopped, the waste does not meet eligibility standards already go wasted. The results of due diligence waste becomes invalid because there is a span of sampling the waste to be tested until the termination decision sewage. This research aims to create a detector or sensor element content of metals in waste water nickel mine so that measurements in real-time (real-time measurement) can be implemented when the detector / sensor associated with the application of metal waste feasibility analysis of nickel mining waste. The application works after receiving data in the form of values element content sent by detectors / sensors that detect levels of element content in the waste water. The data was analyzed using an algorithm kemudian supervised a machine to determine the feasibility of waste disposal. Results of research designed expert system can determine the feasibility of the exhaust quality standard automated waste.

Keywords: Expert System, the detector / sensor, Standard Waste Quality Standard, Nickel Mining Automation, Supervised Algorithm Mechine.

1. PENDAHULUAN

Limbah industri pada umumnya merupakan bahan beracun dan berbahaya (B3) yang berasal dari proses produksi sebuah industri. Limbah dapat mencemari dan merusak lingkungan serta dapat membahayakan kelangsungan hidup manusia. Berbagai upaya dilakukan untuk mencegah terjadinya pencemaran dan rusaknya lingkungan hidup akibat B3 melalui peraturan pemerintah (PP) tentang pengelolaan limbah, penetapan standar baku mutu air limbah, peneliti-penelitian tentang pengelolaan limbah dan usaha-usaha lainnya yang dilakukan untuk menurunkan kandungan B3 sehingga pengelolaan

dan pemanfaatan sumber daya alam tidak memberikan dampak negatif terhadap manusia dan lingkungannya.

Beberapa penelitian telah dilakukan dibidang pengelolaan limbah, yaitu menurunkan kadar total suspended solid (TSS), total Fe, total Mn menggunakan biji kelor pada pertambangan batu bara [3], menurunkan kadar Cu, Cr dan Ag melalui adsorpsi (penyerapan) menggunakan tanah liat pada industri perak [1], pengaruh pH dan penggunaan biomassa *Aspergillus niger* van Tieghem dalam penyerapan logam Zn dari limbah pertambangan nikel melalui proses biosorpsi [2]. Dan masih banyak lagi penelitian-penelitian yang dilakukan untuk mencari cara dan metode sehingga limbah yang dihasilkan oleh industri pertambangan tidak merusak lingkungan.

Proses pembuangan limbah pertambangan nikel pada umumnya dilakukan melalui uji laboratorium untuk mengetahui kandungan unsur-unsur kimia yang terkandung dalam limbah sebelum proses pembuangan dilakukan. Jika hasil pengujian laboratorium terhadap kandungan unsur-unsur dalam limbah telah memenuhi standar kelayakan buang, maka proses pembuangan limbah dilakukan dengan cara membuka pintu penampungan limbah. Metode buka tutup pintu pembuangan limbah berdasarkan hasil uji laboratorium membutuhkan waktu yang relatif lama. Karena untuk menutup kembali pintu pembuangan limbah harus menunggu hasil uji labaratorium, sementara limbah terus mengalir. Bisa jadi ketika hasil uji laboratorium menyatakan proses pembuangan harus dihentikan, limbah yang tidak memenuhi standar kelayakan sudah ikut terbuang. Hasil uji kelayakan buang menjadi tidak valid karena terdapat rentang waktu dari pengambilan sampel limbah yang akan diuji sampai dengan keputusan penghentian pembuangan limbah. Untuk itu perlu dilakukan otomatisasi pada proses pembuangan limbah tersebut melalui penerapan teknologi informasi yang dapat memberikan informasi secara real time tentang kandungan unsur dalam limbah yang akan dibuang dan selanjutnya teknologi tersebut secara otomatis menentukan apakah limbah akan dibuang atau tidak.

Teknologi informasi yang dimaksud adalah penggunaan aplikasi untuk menganalisis kelayakan buang limbah pertambangan nikel dengan menggunakan algoritma Supervised Mechine yang digunakan untuk mengklasifikasikan data-data kandungan unsur limbah yang layak dibuang dengan data-data kandungan unsur yang tidak layak dibuang dimana data-data tersebut terlebih dahulu dioptimalisasikan.

Proses otomatisasi yang dilakukan dengan metode yang telah dijelaskan di atas, memperoleh input dari detektor/sensor yang bekerja secara real time untuk mendeteksi kandungan unsur-unsur dalam limbah yang akan dianalisis oleh aplikasi, dan selanjutnya hasil analisis dikirim ke peralatan secara real time untuk membuka atau menutup pintu pembuangan limbah.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian kuantitatif, dimana data-data yang diamati adalah data dalam bentuk numerik (angka) dan diolah dengan persamaan matematis.

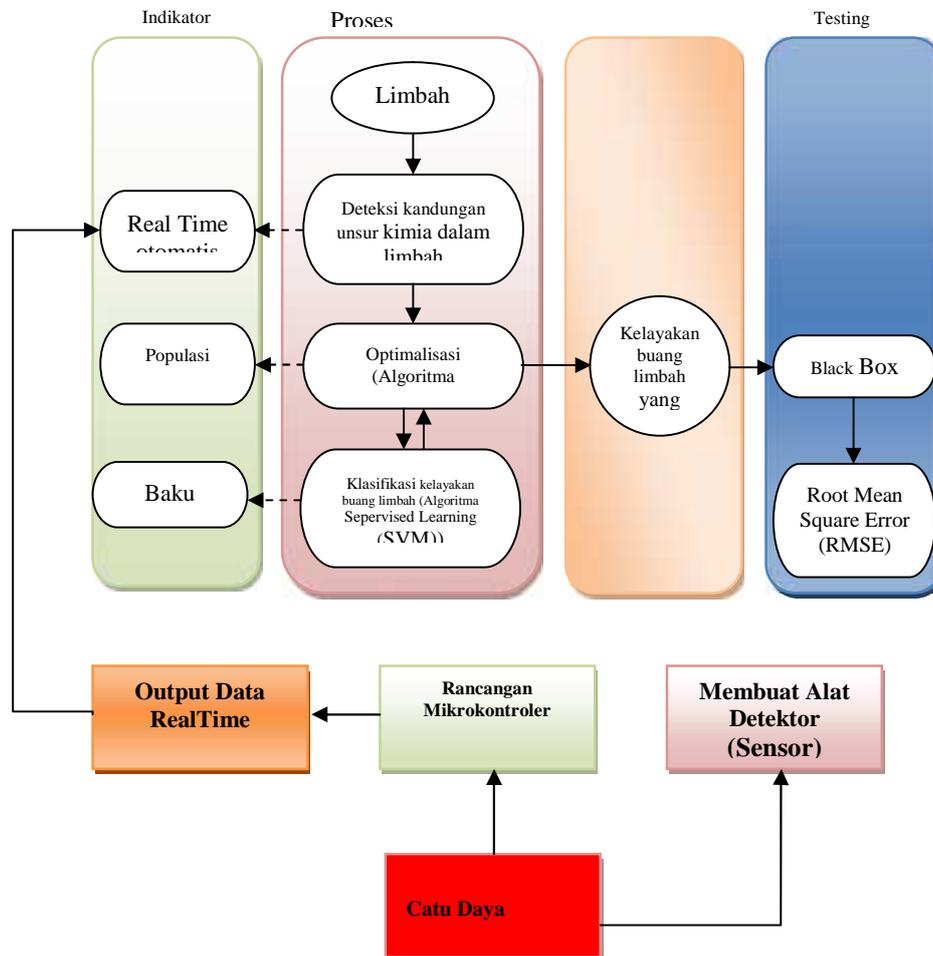
2.1. Bagan Alir Penelitian dan Arsitektur Sistem Pakar

Alur dalam penelitian ini terdiri dari beberapa proses yang harus dilakukan yang dimulai dari indikator berupa baku mutu limbah, populasi data, dimana data limbah diperoleh secara real time otomatis, dalam penelitian ini data real time tersebut diperoleh dari hasil simulasi sistem yang akan di olah dengan menggunakan algoritma supervised mechine baik untuk mengklasifikasi data maupun untuk proses optimalisasi seperti pada gambar 1.

2.2 Implementasi Algoritma Supervised Mechine

Supervised mechine atau supervised mechine learning digunakan dalam proses klasifikasi dan optimalisasi data yang dalam hal ini adalah implementasi Algoritma Support Vector Mechine (SVM) dan Particle Swarm Optimization (PSO). Tahapan implementasi dari kedua algoritma tersebut seperti pada Gambar 3 dibawah ini :

1. Input data berasal dari detektor yang mendeteksi kadar kandungan limbah terukur, yaitu : pH, TSS, Cu, Cd, Zn, Pb, Ni, Cr⁽⁶⁺⁾, Cr total, Fe, dan Co. Proses deteksi menggunakan sensor diluar lingkup penelitian dan disimulasikan melalui aplikasi simulator.
2. Inisialisasi kadar kandungan limbah yang terinput secara realtime dari peralatan sensor, jumlah iterasi, inisialisasi nilai C_1 , C_2 , dan inertia weight (w).



Gambar 1 : Bagan Alir Penelitian

3. Set waktu (k) = 0. Berjalan pada algoritma PSO.
4. Inisialisasi posisi (X_k^i) dan kecepatan/velocity (V_k^i) dari kumpulan partikel yang dibangkitkan secara acak menggunakan batas atas (X_{max}) dan batas bawah (X_{min}) melalui persamaan :

$$X_0^i = X_{min} + rand(X_{max} - X_{min}) \quad (1)$$

$$V_0^i = X_{min} + rand(X_{max} - X_{min}) \quad (2)$$
 Dengan proses inisialisasi ini kumpulan partikel menjadi terdistribusi secara acak dalam bentuk vektor pada *design space*, dimana dimensi vektor disimbolkan sebagai n ,

$$X_k^i = (X_k^{i1}, X_k^{i2}, \dots, X_k^{in})^T \quad (3)$$

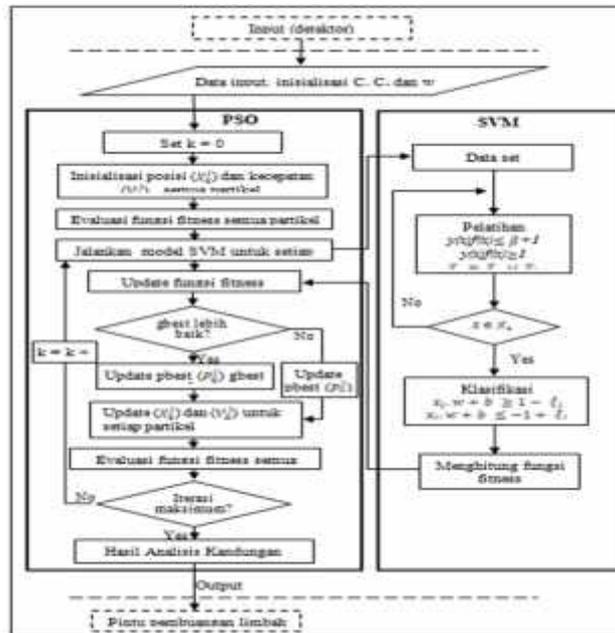
$$V_k^i = (V_k^{i1}, V_k^{i2}, \dots, V_k^{in})^T \quad (4)$$
5. Evaluasi nilai fitness untuk semua partikel i .
6. Menjalankan model SVM untuk semua partikel yang telah terinisialisasi, partikel tersebut merupakan dataset (input) pada SVM.
7. Menjalankan proses pelatihan untuk setiap data yang telah terseleksi. Parameter pada proses pelatihan ini merupakan masukan yang berasal dari baku mutu air limbah yang telah ditentukan dan kemudian akan menjadi garis pemisah (*hyperplane*) untuk memisahkan 2 buah kelas sebagai $y(x)f(x)=1$. Kandidat *support vector* diperoleh dari $y(x)f(x) \leq \beta+1$ dan $y(x)f(x) \geq 1$ (β adalah parameter yang ditentukan pengguna).
8. Jika terdapat data pelatihan baru dan model hasil pelatihan sebelumnya akan diperbaharui, maka dari data pelatihan lama cukup diambil sebagian data sebagai kandidat *support vector*.

9. Data hasil pelatihan diklasifikasikan dengan $x_i \cdot w + b \geq 1$ untuk kelas 1, dan $x_i \cdot w + b \leq -1$ untuk kelas 2.
10. PSO melakukan update fungsi fitness. Nilai fitness diperoleh dari hasil klasifikasi SVM.
11. Jika nilai fitness lebih baik dari gbest sebelumnya, maka dilakukan update pbest dan gbest, tetapi jika nilai fitness tidak lebih baik dari gbest maka hanya update pbest yang dilakukan.
12. Berdasarkan pbest (posisi terbaik partikel) dan gbest (posisi terbaik dalam populasi) yang baru maka dilakukan update posisi (X_{k+1}^i) dan kecepatan (V_{k+1}^i) untuk semua partikel dengan rumus :

$$V_{k+1}^i = w \cdot V_k^i + c_1 \text{rnd}(P_k^i - X_k^i) + c_2 \text{rnd}(P_k^g - X_k^i) \quad (5)$$

$$X_{k+1}^i = X_k^i + V_{k+1}^i \quad (6)$$
13. Melakukan evaluasi fungsi fitness terbaru semua partikel untuk iterasi berikutnya.
14. Kembali ke point 6 untuk proses pada modul SVM untuk iterasi berikutnya, jika iterasi sudah maksimum, maka algoritma PSO-SVM selesai dan menghasilkan output apakah pembuangan limbah dilakukan atau tidak.

Implementasi algoritma supervised machine seperti pada tahapan diatas dapat digambarkan seperti pada Gambar 5 dibawah ini [5]

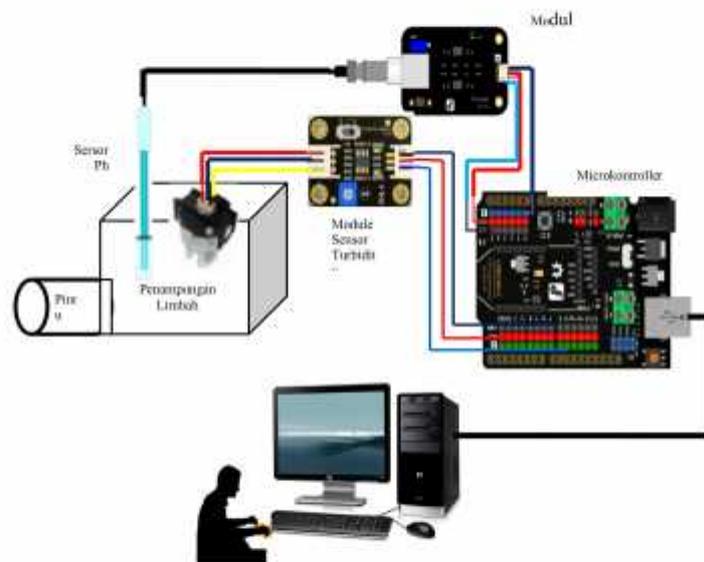


Gambar 2 : Implemetasi Algoritma Suvervised Mechine

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

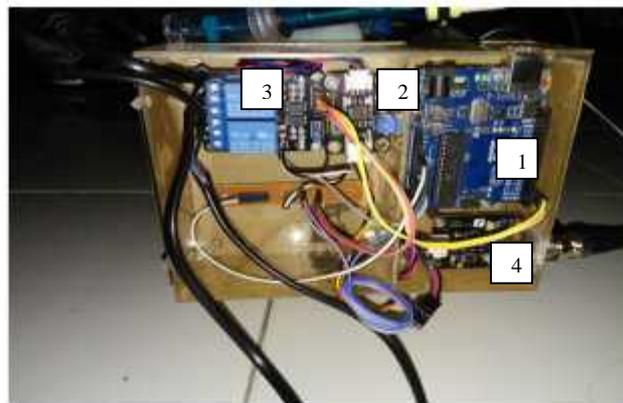
3.1 Perancangan Perangkat Keras

wadah penampungan limbah akan dimasukan/ dicelupkan beberapa sensor untuk deteksi kandungan limbah, dalam penelitian ini akan digunakan dua sampel sensor untuk mendekti kandungan limbah yaitu Sensor Ph untuk menangkap data tingkat keasaman air limbah dan sensor Turbidity untuk menangkap data dari limbah *total suspended solid* (TSS)/kekeruhan air.



Gambar 3 : Perancangan Perangkat Keras

Pada gambar 3 adalah rancangan alat deteksi limbah menggunakan dua sampel sensor yaitu sensor Ph dan Turbidity, yang kemudian sensor tersebut akan membaca data dari bak penampungan limbah yang dikontrol melalui microkontroler. Hasil pembacaan data secara real time tersebut akan ditampilkan melalui interface komputer. Detail rancangan tersebut dapat dilihat seperti gambar 4 dan gambar 5 berikut :



Gambar 4 : Rangkaian Alat

Keterangan :

1. Arduino
2. Modul Turbidity
3. Relay
4. Modul Sensor PH

Gambar 4 diatas adalah rangkaian alat berupa microcontroller arduino yang akan mengontrol data masukan dari sensor yang akan membaca data kandungan limbah secara realtime, dimana sensor tersebut akan dipasang pada bak penampungan limbah seperti gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5 : Bak Penampungan Limbah yang dipasang sensor deteksi kandungan limbah

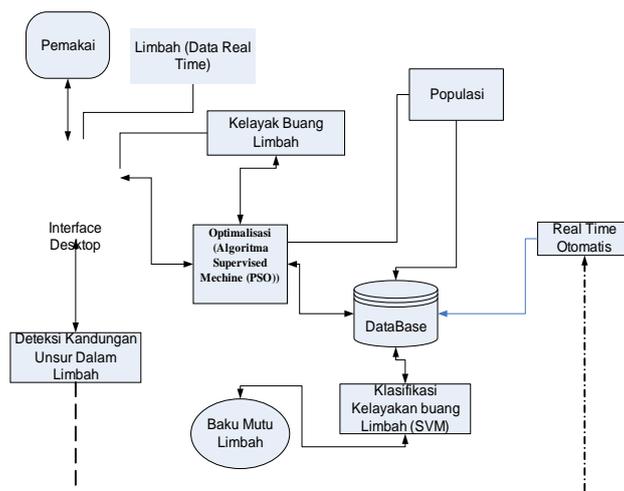
Keterangan

1. Sensor PH
2. Sensor Turbidity
3. Penampungan Limbah
4. Pintu Pembuangan Limbah

Pada gambar 5 diatas terpasang sensor untuk mendeteksi kandungan limbah dimana data tersebut akan ditampilkan pada interface komputer yang kemudian akan dianalisis menggunakan algoritma supervised mechine, dimana algoritma ini akan menyimpulkan apakah limbah tersebut layak untuk dibuang atau tidak.

3.2 Perancangan Sistem

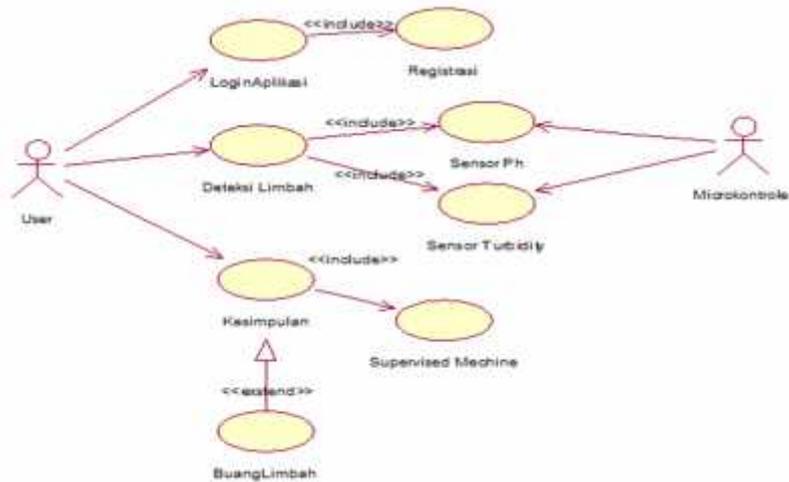
Untuk mencapai tujuan penelitian maka dibuat suatu aplikasi sistem pakar yaitu aplikasi analisis untuk melakukan analisis kandungan unsur dalam limbah menggunakan algoritma supervised mechine (PSO dan SVM) dan aplikasi simulator yang menjalankan fungsi detektor/sensor limbah dan menjalankan proses buka tutup pintu pembuangan limbah. Sistem pakar merupakan aplikasi berbasis komputer yang digunakan untuk menyelesaikan masalah sebagaimana yang dipikirkan oleh pakar [4], model arsitektur sistem pakar yang dirancang seperti pada gambar berikut :



Gambar 6 : Arsitektur Simpakar Pembuangan Limbah

a. Use Case Diagram Aplikasi

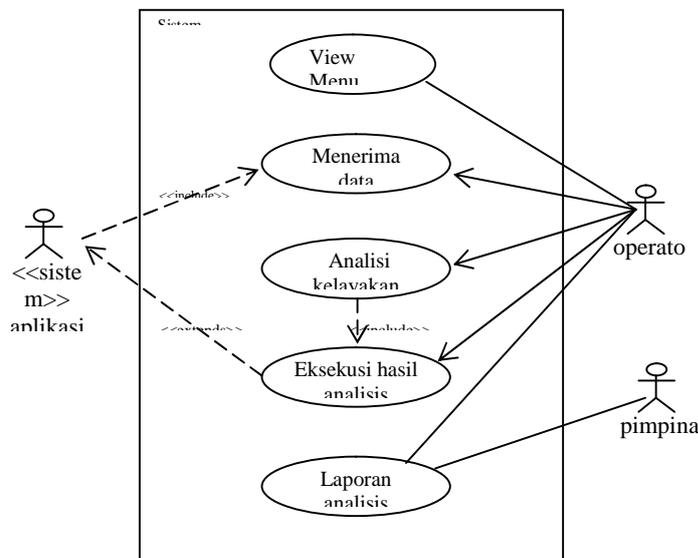
terdapat dua actor yang terlibat dalam aplikasi yaitu actor user sebagai pengguna dari aplikasi dan actor microkontroler sebagai pengendali sistem dalam mendeteksi kandungan limbah.



Gambar 7 : Usecase Diagram Aplikasi

b. Use Case Diagram Aplikasi Analisis

Use Case diagram aplikasi analisis menggambarkan interaksi antara 3 aktor yang berada diluar sistem, yaitu aktor sistem (aplikasi simulator, aktor operator dan aktor pimpinan).



Gambar 8 Use Case Diagram Aplikasi Analisis

3.2 Interface Aplikasi

Setelah perancangan perangkat keras dilakukan, maka penulis melakukan perancangan sebuah perangkat lunak. Perancangan ini bertujuan untuk memasukan sebuah listing program ke dalam *hardware* dalam hal ini arduino secara keseluruhan. Perancangan perangkat lunak yang telah dibuat menggunakan aplikasi Arduino IDE

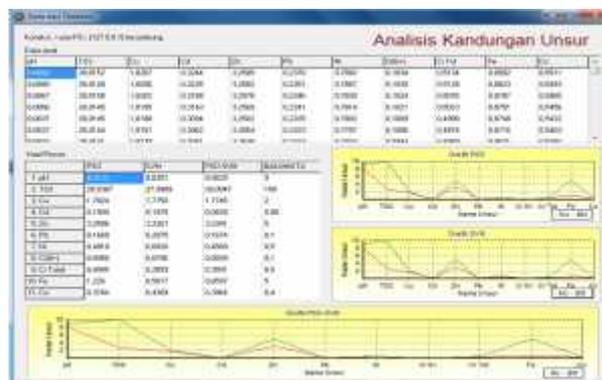


Gambar 9 : Interface Arduino Uno

Untuk interfas dari user akan dirancang menggunakan bahasa pemrograman Delphi yang akan menghasilkan data dari detektor sensor yang kemudian dikirim ke aplikasi analisis. Pada implementasi ini akan ditampilkan 1100 data limbah. Pada implementasi ini juga memperlihatkan respon dari pembukaan/penutupan pintu pembuangan limbah berdasarkan hasil analisis yang diterima dari aplikasi analisis seperti pada gambar 9 dan 10 berikut :



Gambar 9: Interfas Untuk Menampilkan data yang dibaca dari sensor



Gambar 10 : Interfas Analisis Kelayakan Buang

Pada Gambar 8 menampilkan data yang dibangkitkan dan pada indikator terlihat jumlah data yang dibangkitkan sebesar 1100 data. Dalam sekali pembangkitan data setiap unsur dibangkitkan sebanyak 100 data. Pada gambar terlihat nilai pertama 8,0884 adalah nilai pH, selanjutnya TSS = 28,0152, Cu = 1,8207, Cd = 0,3244, Zn = 3,2589, Pb = 0,2370, Ni = 0,7882, Cr⁽⁶⁺⁾ = 0,1034, Cr (Total) = 0,5134, Fe = 0,8902, Co = 0,5511, dan nilai pH berikutnya adalah 0,0880. Pola pembangkitan data dilakukan untuk tiap unsur dan dilakukan sebanyak 100 kali sehingga total data dalam sekali pembangkitan sebesar 1100 data. Data yang dibangkitkan sudah terkodefikasi sehingga data yang diterima aplikasi analisis nantinya dapat mengenal kepemilikan nilai-nilai tersebut. Pada indikator deteksi menunjukkan angka dua yang berarti nilai-nilai di atas merupakan data yang dibangkitkan kedua kalinya. Dan pada indikator buka/tutup pintu adalah "PINTU TERBUKA", Pada Gambar 8 ditampilkan hasil implementasi aplikasi analisis yang terdiri dari tiga bagian utama, yaitu data awal dalam bentuk tabel, hasil proses/analisis dalam bentuk tabel dan grafik. Pada tabel paling atas memperlihatkan nilai yang dibangkitkan sebagai data awal dengan nilai di atas toleransi batas atas untuk tiap unsur. Nilai-nilai seperti pada gambar di atas dibangkitkan untuk melihat kinerja aplikasi dalam merespon kondisi nilai yang berada di atas toleransi batas atas. selanjutnya aplikasi merespon dengan baik kondisi nilai yang berada di atas toleransi batas atas dengan melakukan penurunan nilai untuk mencapai kondisi nilai dalam range baku mutu sehingga proses buka pintu pembuangan dapat terjadi. Pada pembangkitan nilai lainnya nilai-nilai unsur dibawah toleransi batas bawah aplikasi akan merespon untuk melakukan proses penutupan pintu pembuangan. Tiga grafik yang dimunculkan pada Gambar 9 masing-masing memperlihatkan hasil proses/analisis Algoritma Support Vector Mechine (SVM), Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) dan gabungan ketiga Algoritma tersebut. Hasil analisis kemudian diberikan bobot nilai tertinggi (3), sedang (2) dan (1) seperti yang terlihat pada tabel ke dua dari Gambar 6. Dari tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa untuk 11 unsur dalam limbah, ternyata PSO memiliki range nilai tertinggi (3) yang paling dominan, yaitu untuk 7 unsur pH, TSS, Cu, Zn, Cr⁽⁶⁺⁾, Cr Total, dan Fe, sedangkan untuk SVM hanya 4 nilai tertinggi masing-masing Cd, Pb, Ni dan Co, sementara untuk penggabungan keduanya, tidak terdapat bobot dengan nilai tertinggi. Untuk bobot nilai terendah (1) banyak terdapat (mayoritas) pada SVM masing-masing pada nilai unsur pH, TSS, Cu, Zn, Cr⁽⁶⁺⁾, Cr Total dan Fe, sedangkan pada PSO, hanya pada Pb dan Co. Sedangkan untuk penggabungan keduanya hanya terdapat pada nilai unsur Cd dan Ni. Sementara untuk penggabungan antara PSO dan SVM mayoritas bobot nilainya adalah (2), masing-masing pada nilai unsur pH, TSS, Cu, Zn, Pb, Cr⁽⁶⁺⁾, Cr Total, Fe dan Co. Sedangkan bobot (1) hanya terdapat pada unsur Cd dan Ni. Untuk bobot (3) tidak ada sama

3.3 Pengujian

Teknik pengujian yang digunakan adalah Pengujian *Black Box* adalah metode pengujian fungsional dari sebuah aplikasi[6]. Pengujian dilakukan dengan himpunan kondisi input yang akan melatih seluruh syarat-syarat fungsional suatu program dengan hasil yang sesuai yang diharapkan.

a. Pengujian *Black Box* Aplikasi Detektor.

Tabel 1 Pengujian Aplikasi Detektor

No	Skenario Pengujian	Test Case	Hasil yang diharapkan	Hasil Pegujian
1	Melakukan koneksi ke aplikasi analisis (server)	Tombol Connect	Koneksi ke aplikasi analisis tersambung	<input checked="" type="checkbox"/> Terima <input type="checkbox"/> Tolak
		Tombol Disconnect	Koneksi keaplikasi analisis terputus	<input checked="" type="checkbox"/> Terima <input type="checkbox"/> Tolak
2	Mendeteksi unsur limbah	Tombol Jalankan Detektor	Pembangkitan nilai terjadi sebanyak 1100 data (11x100)	<input checked="" type="checkbox"/> Terima <input type="checkbox"/> Tolak

b. Pengujian *Black Box* Aplikasi Analisis

Tabel 2. Pengujian Aplikasi Analisis

No	Skenario Pengujian	Test Case	Hasil yang diharapkan	Hasil Pegujian
1	Menerima data dari aplikasi	Otomatis	Tabel nilai unsur yang dibangkitkan terisi	<input checked="" type="checkbox"/> Terima <input type="checkbox"/> Tolak
2	Menjalankan analisis dengan Suvised Mechine (PSO-SVM)	Otomatis	Tabel hasil analisis terisi dan grafik kondisi unsur terbentuk	<input checked="" type="checkbox"/> Terima <input type="checkbox"/> Tolak
3	Perubahan nilai	Otomatis	Nilai unsur yang diubah diterima dari pembangkitan berikutnya menurun.	<input checked="" type="checkbox"/> Terima <input type="checkbox"/> Tolak

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian ini, maka kesimpulan pada penelitian ini adalah otomatisasi pembuangan limbah dapat dilakukan dengan mendeteksi secara *real time* kandungan limbah serta dapat dianalisis menggunakan algoritma Suervised Mechine (SPO dan SVM) dengan lama waktu analisis setiap dua menit untuk 1100 data uji yang digunakan. Dari hasil pengujian menggunakan *black box* diperoleh hasil bahwa fungsi-fungsi aplikasi yang ada pada aplikasi detector limbah melalui sensor maupun aplikasi analisis berjalan dengan baik.

5. SARAN

Dalam penelitian selanjutnya diharapkan semua unsur kandungan limbah dapat diteksi menggunakan sensor yang bersesuaian sehingga pengukuran secara *real-time (real-time measurement)* pada semua unsur limbah nikel dapat diimplementasikan ketika detektor/sensor logam dihubungkan dengan aplikasi analisis kelayakan buang limbah pertambangan nikel.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Puja dan puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa atas berkat dan perkenannya penelitian ini dapat terselesaikan. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua sejawat dosen STMIK Dipanegara, sahabat serta keluarga yang turut membantu dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nugeraha, Sri Sumiyati, Ganjar Samudro, 2010, "Pengolahan Air Limbah Kegiatan Penambangan Batubara Menggunakan Biokoagulan : Studi Penurunan Kadar Tss, Total Fe Dan Total Mn Menggunakan Biji Kelor". *Jurnal Presipitasi*, Vol.7 No.2. Halaman 57-61.
- [2] Giyatmi, Zaenul Kamal, Damajati Melati, 2008, Penurunan Kadar Cu,Cr Dan Ag Dalam Limbah Cair Industri Perak Di Kotagede Setelah Diadsorpsi Dengan Tanah Liat Dari Daerah Godean, *Prosiding Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir*, Yogyakarta, 25-26 Agustus.
- [3] Saefudin, Trisna. P, Kusnadi, 2010, Pengaruh pH dan Waktu Kontak terhadap Biosorpsi Logam Zn oleh Biomassa *Aspergillus Niger* Van Tieghem pada Larutan Limbah Pertambangan Nikel, http://file.upi.edu/Direktori/SPS/PRODI.PENDIDIKAN_IPA/196307011988031-SAEFUDIN/Zn_Biosorpsi.pdf, Diakses Tanggal 10 Nopember 2015.
- [4] Kusrini, 2008, *Aplikasi Sistem Pakar*, Ed. 1, Andi Offset, Yogyakarta.
- [5] Santosa Budi, 2010, Tutorial Support Vector Machine, <http://dokumen.tips/documents/tutorial-svm.html>, Tanggal Akses 27 Desember 2015.
- [6] Pressman, Roger S., 2002, *Rekayasa Perangkat Lunak Pendekatan Praktisi (Buku 1)*, Ed. 1, Andi Offset, Yogyakarta.