

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

Komang Aryasa¹⁾, Wilem Musu²⁾

^{1,2} Stmik Dipanegara Makassar; Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 09 Makassar, Telp : 0411 587194

^{1,2} Program Studi Teknik Informatika, STMIK Dipanegara Makassar

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

Abstrak

Metode buka tutup pintu pembuangan limbah secara manual berdasarkan hasil uji laboratorium membutuhkan waktu relatif lama. Ketika hasil uji laboratorium menyatakan proses pembuangan harus dihentikan, limbah yang tidak memenuhi standar kelayakan sudah ikut terbuang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang sistem pakar menggunakan algoritma Supervised Learning untuk otomatisasi standar baku limbah pertambangan nikel, algoritma ini digunakan untuk mengklasifikasikan besaran nilai kandungan unsur dalam limbah, dan digunakan untuk mengoptimalkan proses penentuan kelayakan buang limbah. Algoritma ini bekerja setelah menerima data dalam bentuk nilai-nilai kandungan unsur yang dibangkitkan oleh sebuah aplikasi simulator yang mendeteksi kadar kandungan unsur dalam air limbah. Hasil analisis tersebut digunakan untuk menentukan kelayakan pembuangan limbah. Dari 11 unsur yang dianalisis tujuh unsur memiliki bobot nilai tertinggi dalam setiap pengukuran yaitu pH, TSS, Cu, Zn, Cr⁽⁶⁺⁾, Cr Total, dan Fe., sementara Support Vector Machine hanya empat unsur yang memiliki nilai bobot tertinggi dari setiap pengukuran, yaitu unsur Cd, Pb, Ni dan Co.

Kata kunci— Sistem Pakar, Standar Baku, Mutu Limbah, Otomatisasi, Supervised Mechine.

Abstract

Methods of waste disposal open the closed door manually based on laboratory test results requires a relatively long time. When the results of laboratory tests declare the disposal process should be stopped, the waste that do not meet eligibility standards already go wasted. The aim of this study was to devise an expert system using Supervised Learning algorithms for standard automation raw nickel mining waste, this algorithm is used to classify the magnitude of the value of the content of elements in the waste, and used to optimize the process of determining the feasibility of sewage waste. The algorithm works after receiving the data in the form of values element content generated by a simulator application that detects levels of element content in the waste water. The results are used to determine the feasibility of waste disposal. Of the 11 elements were analyzed seven elements has the highest weight value in each measurement is pH, TSS, Cu, Zn, Cr (6+), total Cr and Fe., While Support Vector Machine only four elements that have the highest weight value of each measurement, namely the element of Cd, Pb, Ni and Co.

Keywords— Expert System, Standard Materials, Waste, Automation, Supervised Machine.

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, penelitian-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 [1], menurunkan kadar Cu, Cr dan Ag melalui adsorpsi (penyerapan) menggunakan tanah liat pada industri perak [2], pengaruh pH dan penggunaan biomassa *Aspergillus niger* van Tieghem dalam penyerapan logam Zn dari limbah pertambangan nikel melalui proses biosorpsi [3]. 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 laboratorium, 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.

Dalam penelitian dengan judul *A PSO-SVM Lips Recognition Method Based on Active Basis Model*”, oleh Chih-Yu Hsu, Yung-Chih Chen, Min-chian Tsai, Department of Information and Communication Engineering, Chaoyang University of Technology, Department of Radiation Oology, China Medical University Hospital . Penelitian ini mengusulkan sebuah metode Active Basis Model (ABM) untuk pengenalan bentuk bibir. Dengan menggunakan algoritma PSO dan SVM dapat menggolongkan bentuk-bentuk bibir dengan 4 tahapan, yaitu mengenal bentuk gambar bibir yang terbuka dan tertutup, memperoleh bentuk yang catat dari pengenalan gambar, membedakan bentuk-bentuk bibir dan yang terakhir mengklasifikasikan bentuk bibir. Hubungan dengan penelitian yang dilakukan adalah menggunakan algoritma Supervised Mechine/Supervised Learning yaitu PSO dan SVM untuk melakukan optimasi dan klasifikasi [4].

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.

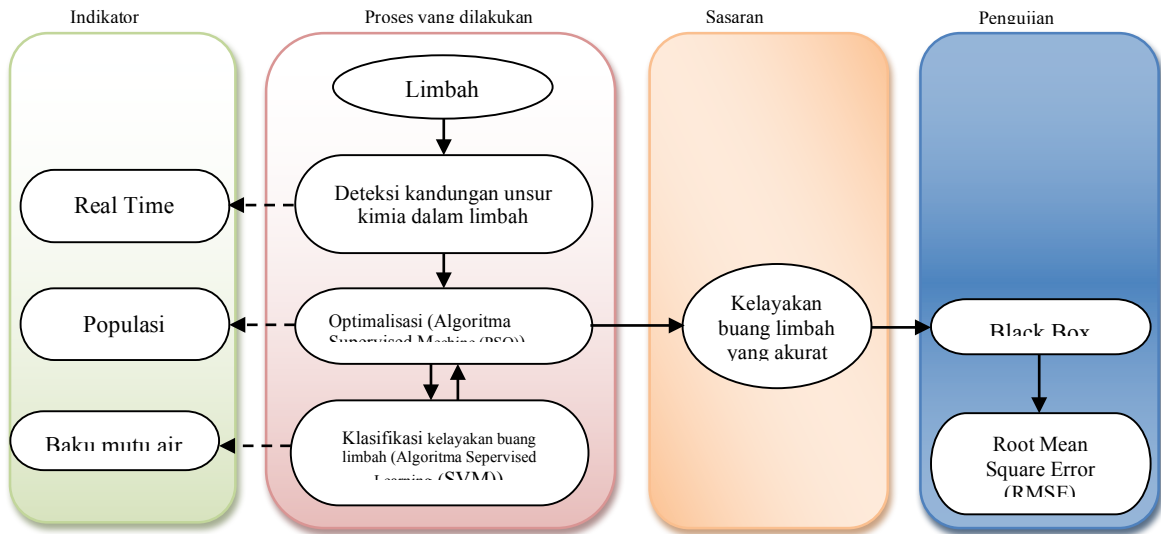
2. METODE PENELITIAN

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

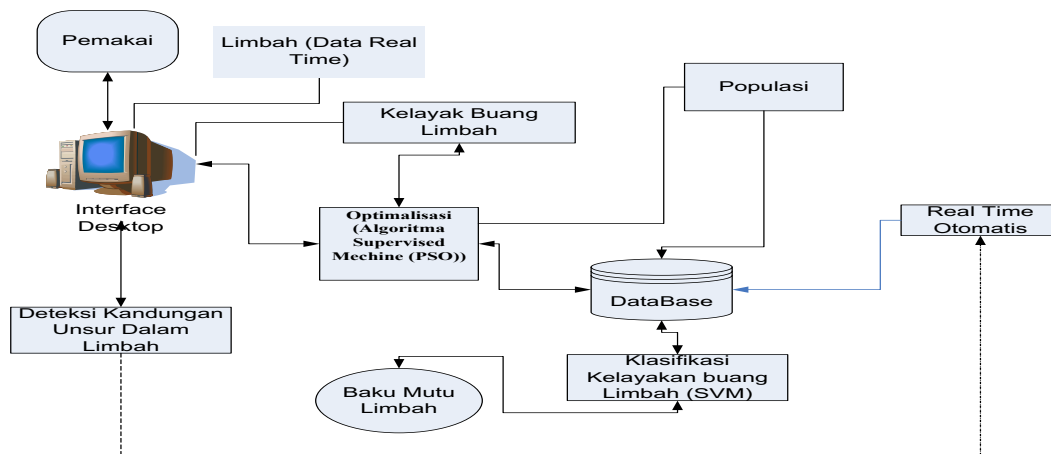
Alur dalam penelitian ini terdiri dari beberapa proses yang harus dilakukan yang dimulai dari indikator berupa baku mutu limbah, populasi data, dimana data limbah diperoleh secara real time otomatis, dalam penelitian ini data real time tersebut diperoleh dari hasil simulasi sistem

yang akan di olah dengan menggunakan algoritma supervised mechine baik untuk mengklasifikasi data maupun untuk proses optimalisasi seperti pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1 : Bagan Alir Penelitian

Sistem pakar merupakan aplikasi berbasis komputer yang digunakan untuk menyelesaikan masalah sebagaimana yang dipikirkan oleh pakar [5], model arsitektur sistem pakar yang dirancang seperti pada gambar berikut :



Gambar 2 : Arsitektur Sistem Pakar

Pada gambar 2 diatas menunjukan proses interaksi sistem pakar dengan data masukan berupa limbah yang akan dilakukan proses deteksi kandungan unsur dalam limbah dengan menggunakan algoritma Supervised Mechine (PSO) dan SVM yang menentukan kelayakan buang limbah.

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).
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 :

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

$$V_0^i = X_{min} + rand(X_{max} - X_{min}) \quad (1)$$
 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 :

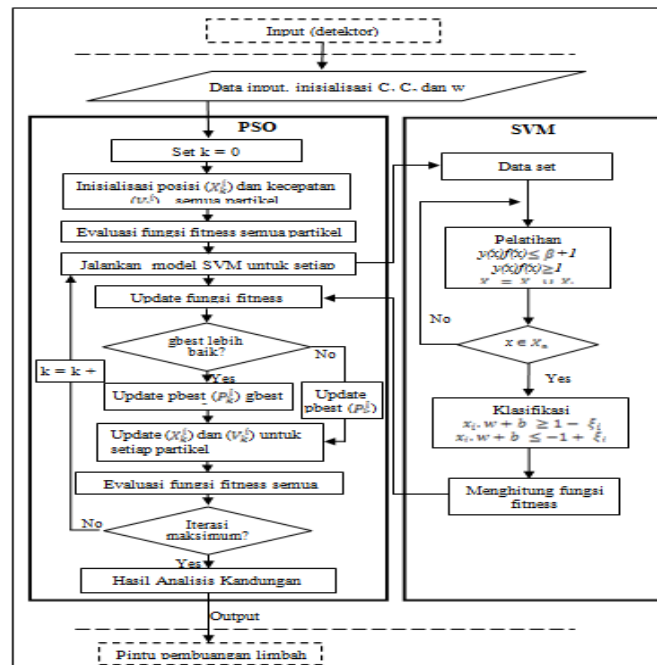
$$V_{k+1}^i = w \cdot V_k^i + c_1 \cdot rand(P_k^i - X_k^i) + c_2 \cdot rand(P_k^g - X_k^i) \quad (5)$$

$$X_{k+1}^i = X_k^i + V_{k+1}^i \quad (6)$$
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.

Algoritma supervised machine dalam hal ini adalah Support vector machine (SVM) adalah suatu teknik yang relatif baru (1995) untuk melakukan prediksi, baik dalam kasus klasifikasi maupun regresi, yang sangat populer belakangan ini. SVM berada dalam satu kelas dengan ANN dalam hal fungsi dan kondisi permasalahan yang bisa diselesaikan. Keduanya masuk dalam kelas *supervised learning*. Baik para ilmuwan maupun praktisi telah banyak menerapkan teknik ini dalam menyelesaikan masalah-masalah nyata dalam kehidupan sehari-hari. Baik dalam masalah gene expression analysis, finansial, cuaca hingga di bidang kedokteran. Terbukti dalam banyak implementasi, SVM memberi hasil yang lebih baik dari ANN, terutama dalam hal solusi yang dicapai. ANN menemukan solusi berupa *local optimal* sedangkan SVM menemukan solusi yang *global optimal*. Tidak heran bila kita menjalankan ANN solusi dari setiap

training selalu berbeda. Hal ini disebabkan solusi *local optimal* yang dicapai tidak selalu sama [6].

Implementasi algoritma supervised machine seperti pada tahapan diatas dapat digambarkan seperti pada Gambar 3 dibawah ini



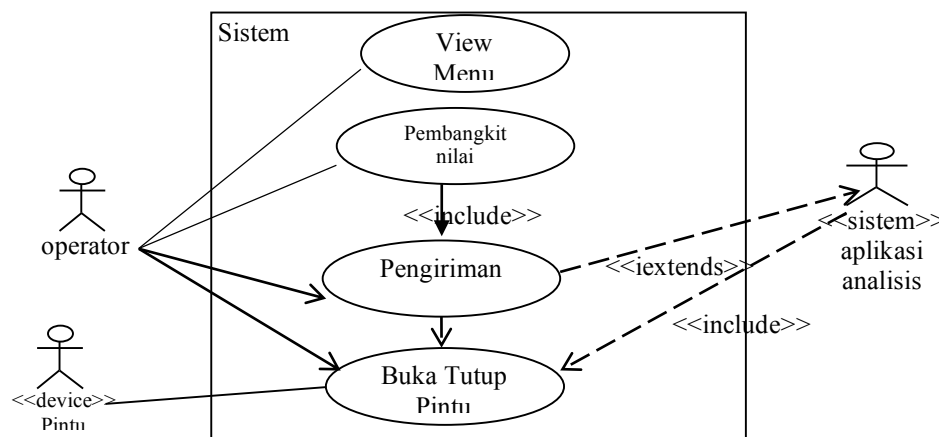
Gambar 3. Implementasi Algoritma PSO dan SVM

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mencapai tujuan penelitian maka dibuat suatu aplikasi sistem pakar yaitu aplikasi analisis untuk melakukan analisis kandungan unsur dalam limbah menggunakan algoritma PSO dan SVM dan aplikasi simulator yang menjalankan fungsi detektor/sensor limbah dan menjalankan proses buka tutup pintu pembuangan limbah.

3.1 Use Case Diagram Aplikasi

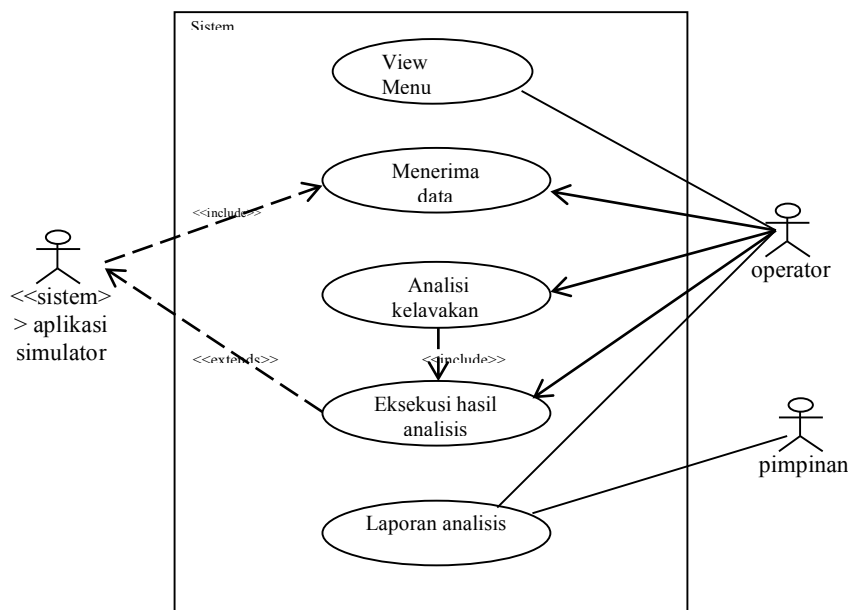
Use Case aplikasi sistem pakar adalah diagram yang digunakan menggambarkan fungsionalitas sistem dari aplikasi simulator dan bagaimana aplikasi tersebut berinteraksi dengan dunia luar. Diagram use case aplikasi adalah sebagai berikut :



Gambar 4. Use Case Diagram Aplikasi Sistem Pakar

3.2 Use Case Diagram Aplikasi Analisis

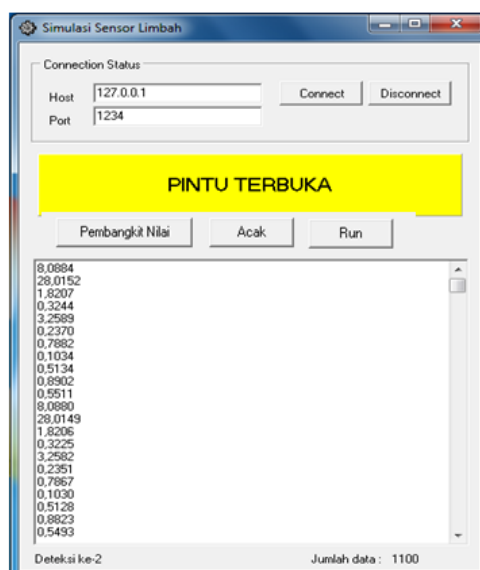
Use Case diagram aplikasi analisis menggambarkan interaksi antara 3 aktor yang berada diluar sistem, yaitu aktor sistem (aplikasi simulator, aktor operator dan aktor pimpinan.



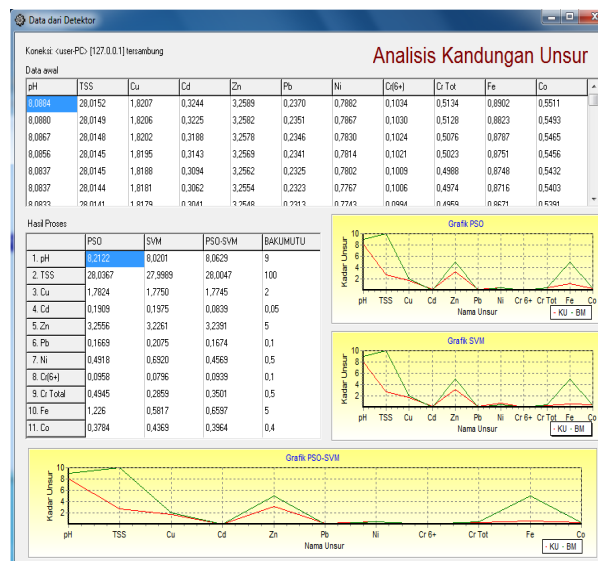
Gambar 5 Use Case Diagram Aplikasi Analisis

3.3 Implementasi Aplikasi

Implementasi aplikasi simulator akan menghasilkan data yang dibangkitkan kemudian dikirim ke aplikasi analisis. Pada implementasi ini akan ditampilkan 1100 data dari 11 unsur yang nilainya dibangkitkan. Pada implementasi ini juga memperlihatkan respon dari pembukaan/penutupan pintu pembuangan limbah berdasarkan hasil analisis yang diterima dari aplikasi analisis.



Gambar 6 Implementasi Simulator



Gambar 7 Implementasi Analisis

Pada Gambar 6 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 6 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 7 masing-masing memperlihatkan hasil proses/analisis Algoritma Support Vector Machine (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 sekali.

3.4 Pengujian

Pengujian pada penelitian ini menggunakan metode *white box testing* dan *black box testing* untuk memperoleh hasil pengujian yang sesuai dengan indikator keberhasilan proses yang diharapkan.

3.4.1 White Box Testing

Pengujian *White Box* adalah pengujian untuk mengetahui cara kerja perangkat lunak secara internal dan untuk menjamin operasi-operasi internal bekerja sesuai spesifikasi yang telah ditetapkan. Metode ini bertujuan mengukur kompleksitas logika dari perancangan prosedur utama. Untuk menghitung tingkat kompleksitas logika program maka digunakan metode *Cyclomatic Complexity* (CC). CC merupakan suatu sistem pengukuran yang menyediakan ukuran kuantitatif dari kompleksitas logika suatu program. Pada *Basis Path Testing*, hasil dari CC digunakan untuk menentukan banyaknya *independent paths*. *Independent path* adalah sebuah kondisi pada program yang menghubungkan *node* awal dengan *node* akhir [7]. Terdapat dua persamaan untuk mengukur CC, yaitu :

$$V(G) = E - N + 2 \text{ atau } V(G) = P + 1, \text{ dimana}$$

$V(G)$ = *Cyclomatic Complexity* untuk *flowgraph* G

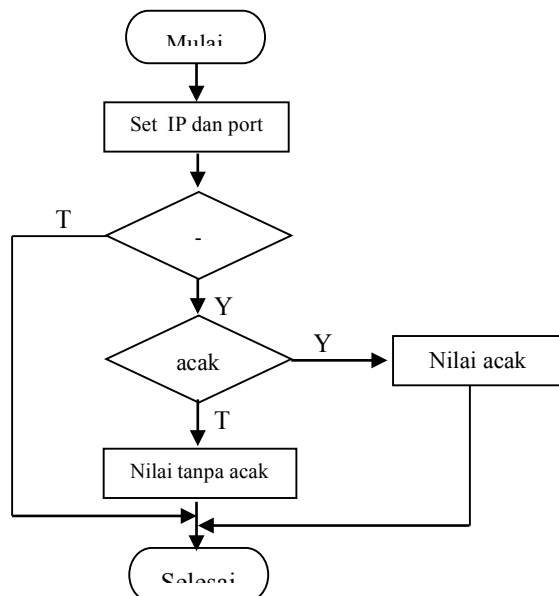
E = Jumlah *edge* (panah) yang menggambarkan aliran kontrol dari setiap *node* dan harus menuju sebuah *node*.

N = Jumlah *node* (lingkaran) yang menggambarkan satu atau lebih perintah prosedural.

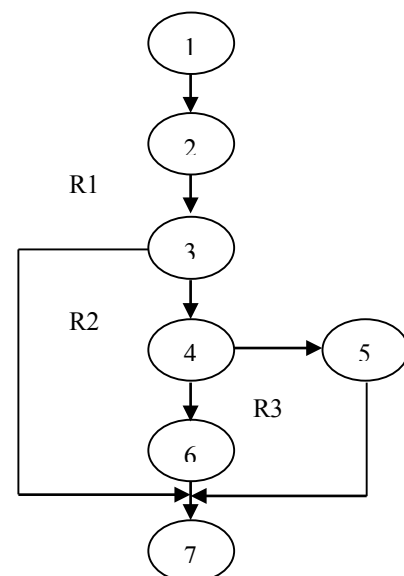
P = Jumlah *predicate node* adalah kondisi yang terdapat pada *node* dan mempunyai karakteristik dua atau lebih *edge* lainnya.

Region = Daerah yang dibatasi *node* dan *edge* dan daerah luar.

a. Pengujian white box pada aplikasi simulator.



Gambar 8. Flowchart Aplikasi Simulator



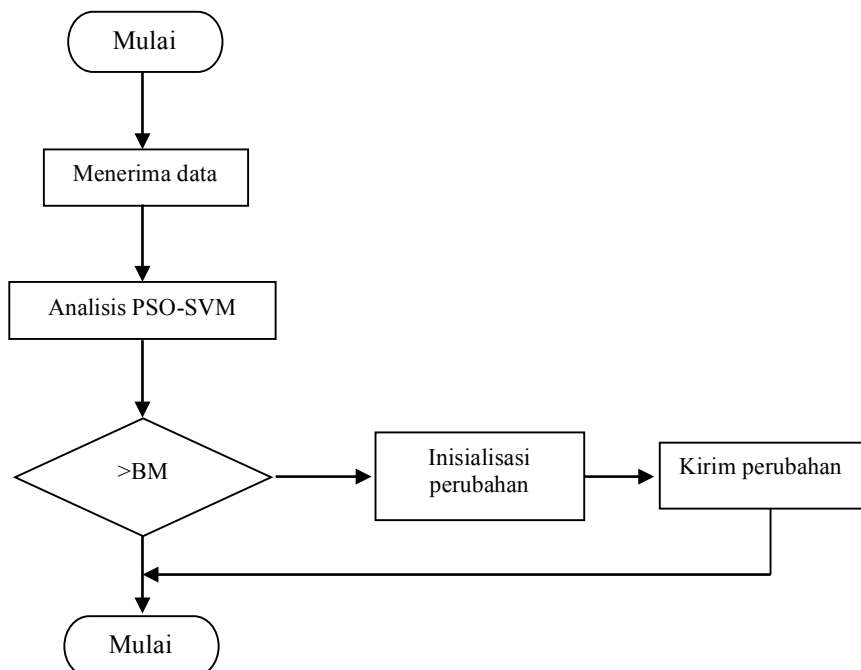
Gambar 9. Flowgraph Aplikasi Simulator

Perhitungan *Cyclomatic Complexity* dari *Flowgraph* Aplikasi Simulator adalah sebagai berikut :

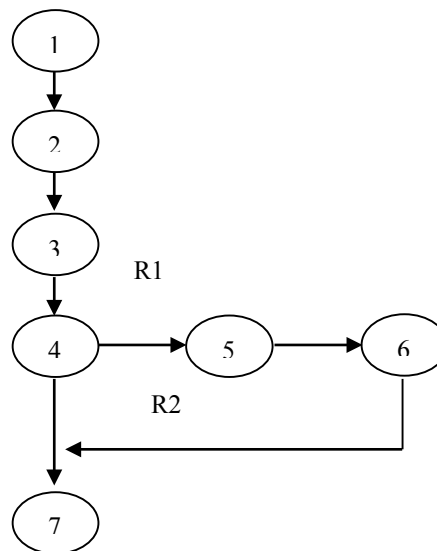
1. Region = 3
2. Menghitung *Cyclometric Complexity* dari *Edge* dan *Node*
 dengan rumus : $V(G) = E - N + 2$
 dimana : $E = 8, N = 7$
 penyelesaian : $V(G) = E - N + 2$
 $= 8 - 7 + 2$
 $= 3$
 atau
 Mengetahui *Cyclometric Complexity* dari P
 P adalah titik yang menyatakan logika dalam diagram alir
 $V(G) = P + 1$
 $= 2 + 1$
 $= 3$
3. Path 1 : 1 – 2 – 3 – 7
 Path 2 : 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 7
 Path 3 : 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7
 Kesimpulan CC = 3, Region = 3 dan Path = 3, maka aplikasi simulator dinyatakan benar.

b. Pengujian *white box* pada aplikasi analisis.

Pada aplikasi analisis proses berjalan secara otomatis mulai dari menerima data dari aplikasi simulator kemudian dianalisis menggunakan PSO dan SVM. Hasil analisis kemudian dibandingkan dengan baku mutu air limbah. Jika melewati baku mutu air limbah maka aplikasi analisis akan mengirimkan informasi pada aplikasi simulator untuk menurunkan nilai untuk setiap unsur yang melewati baku mutu air limbah. Jika hasil analisis tidak melewati baku mutu air limbah maka aplikasi analisis tidak mengirimkan instruksi perubahan nilai. Berikut pengujian *white box* pada aplikasi analisis.



Gambar 10. *Flowchart* Aplikasi Analisis

Gambar 11. *Flowgraph* Aplikasi Analisis

Perhitungan *Cyclometric Complexity* dari *Flowgraph* Aplikasi Simulator adalah sebagai berikut :

1. Region = 2
2. Menghitung *Cyclometric Complexity* dari *Edge* dan *Node*
 dengan rumus : $V(G) = E - N + 2$
 dimana : $E = 7, N = 7$
 penyelesaian : $V(G) = E - N + 2$
 $= 0 + 2$
 $= 2$

atau

Mengetahui *Cyclometric Complexity* dari P

P adalah titik yang menyatakan logika dalam diagram alir

$$\begin{aligned}
 V(G) &= P + 1 \\
 &= 1 + 1 \\
 &= 2
 \end{aligned}$$

3. Path 1 : 1 – 2 – 3 – 4 – 7
- Path 2 : 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7

Kesimpulan $CC = 2$, Region = 2 dan Path = 2, maka aplikasi analisis dinyatakan benar.

3.4.2 Black Box Testing

Pengujian *Black Box* adalah metode pengujian fungsional dari sebuah aplikasi. Pengujian dilakukan dengan himpunan kondisi input yang akan melatih seluruh syarat-syarat fungsional suatu program dengan hasil yang sesuai yang diharapkan. Pengujian *black box* merupakan pengujian yang melengkapi pengujian *white box*.

a. Pengujian *Black Box* Aplikasi Simulator.

Tabel 1 Pengujian Aplikasi Simulator

No	Skenario Pengujian	Test Case	Hasil yang diharapkan	Hasil Pegujian
1	Melakukan koneksi ke aplikasi analisis (server)	Tombol Connect	Koneksi ke aplikasi analisis tersambung	☐ Terima ☐ Tolak
		Tombol Disconnect	Koneksi keaplikasi analisis terputus	☒ Terima ☐ Tolak
2	Membangkitkan nilai unsur	Tombol Jalankan Detektor	Pembangkitan nilai terjadi sebanyak 1100 data (11x100)	☒ Terima ☐ Tolak
3	Mengacak nilai yang akan dibangkitkan	Tombol Acak	Nilai yang dibangkitkan teracak	☒ Terima ☐ Tolak

b. Pengujian *Black Box* Aplikasi Analisis

Tabel 6-8. 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	☒ Terima ☐ Tolak
2	Menjalankan analisis dengan Suvised Mechine (PSO-SVM)	Otomatis	Tabel hasil analisis terisi dan grafik kondisi unsur terbentuk	☒ Terima ☐ Tolak
3	Perubahan nilai	Otomatis	Nilai unsur yang diubah diterima dari pembangkitan berikutnya menurun.	☒ Terima ☐ Tolak

Dari hasil pengujian menggunakan *black box* diperoleh hasil bahwa fungsi-fungsi aplikasi yang ada pada aplikasi simulator maupun aplikasi analisis berjalan dengan baik berdasarkan syarat-syarat fungsional input yang telah ditetapkan sebelumnya. Dan dari hasil pengujian menggunakan *white box* maupun *black box* diperoleh hasil bahwa secara logika dan fungsional kedua aplikasi berjalan dengan baik.

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian ini, maka kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Otomatisasi pembuangan limbah dapat dilakukan melalui analisis menggunakan algoritma Particle Swarm Optimization dan Support Vector Machine dengan lama waktu analisis setiap dua menit untuk 1100 data uji yang digunakan.
2. Algoritma Particel Swarm Optimizaton, dimana dari 11 unsur yang dianalisis tujuh unsur memiliki bobot nilai tertinggi dalam setiap pengukuran yaitu pH, TSS, Cu, Zn, Cr⁽⁶⁺⁾, Cr Total, dan Fe., sementara Support Vector Machine hanya empat unsur yang memiliki nilai bobot tertinggi dari setiap pengukuran, yaitu unsur Cd, Pb, Ni dan Co.

5. SARAN

Penelitian yang telah dilakukan ini masih bersifat *off-line* dimana peralatan detektor/sensor disimulasikan dalam bentuk aplikasi maka sangat perlu penelitian ini dilanjutkan menggunakan objek penelitian secara *on-line*, yaitu dengan 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.

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] Chih-Yu Hsu, Yung-Chih Chen, Min-chian Tsai, 2010, A PSO-SVM Lips Recognition Method Based on Active Basis Model, *Journal Institute of Electrical Engineers (IEEE)*, Vol. 1, Halaman 743-747.
- [5] Kusrini, 2008, *Aplikasi Sistem Pakar*, Ed. 1, Andi Offset, Yogyakarta.
- [6] Santosa Budi, 2010, Tutorial Support Vector Machine, <http://dokumen.tips/documents/tutorial-svm.html>, Tanggal Akses 27 Desember 2015.
- [7] Pressman, Roger S., 2002, *Rekayasa Perangkat Lunak Pendekatan Praktisi (Buku 1)*, Ed. 1, Andi Offset, Yogyakarta.