



Applied Geo-mining and Metallurgy

The Journal of Integrated Applied Geoscience, Mining, and Metallurgy



PERANCANGAN ALAT PELINDIAN AGITASI BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT)

DESIGN OF AGITATION LEACHING EQUIPMENT BASED ON INTERNET OF THINGS (IOT)

D. Lumban Raja^{1*}, DF Ramadhan², ZA Susilo³, dan F Zekkel⁴

¹Program Studi Teknologi Geologi, Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung

²PT Freeport Indonesia Manyar Project

³PT Kalimasada Nusantara Pratama

⁴PT Halmahera Jaya Ferronickel

Korespondensi: denny.lumbanraja@esdm.go.id

INFO ARTIKEL

ABSTRAK

Kata Kunci: Teknik Pelindian, *Internet of Think*, Arduino, Logika Fuzzy

Hidrometalurgi, khususnya sianidasi, muncul sebagai metode yang layak untuk mengekstrak emas karena ketersediaan bijih dengan kadar tinggi semakin menurun. Umumnya teknik pelindian emas salah satunya agitasi yang menggunakan reagen sianida adalah metode yang paling selektif. Suhu pada proses pelindian pada umumnya dapat meningkatkan laju pelindian. Menjaga pH optimal sangat penting untuk mencegah terbentuknya gas hidrogen sianida (HCN) yang beracun dan mudah menguap. Penelitian ini bertujuan untuk merancang suatu alat pelindian dimulai dari wadah dan pro-peller, serta memantau pH dan suhu secara otomatis selama proses pelindian dengan menggunakan sensor Arduino berbasis *mobile* maupun *website*. Dalam penelitian ini algoritma yang digunakan yaitu logika fuzzy (*fuzzy logic*) dalam membantu hal ketidakpastian suatu logika konvensional. Hasil pengujian pH dan suhu pada alat sensor dapat berjalan dengan baik yang ditunjukkan sensor pH

dapat mengukur derajat keasaman dan temperature dapat mengukur suhu pada larutan kemudian hasil data pengukuran tersebut dikirimkan ke *server* dan disimpan kedalam *database*. Hasil data pengukuran dapat dipantau menggunakan aplikasi android maupun halaman *website* sehingga informasi perubahan suhu dan pH selama proses kegiatan pelindian emas dapat diketahui. Penelitian ini dapat berkontribusi pada salah satu pengembangan metode ekstraksi emas yang efisien dan berkelanjutan.

ARTICLE INFO

Keywords: *Leaching techniques, Internet of Think, Arduino, Fuzzy logic*

ABSTRACT

Hydrometallurgy, particularly cyanidation, has become a practical approach for gold extraction because of the decreasing availability of high-grade ores. Generally, gold leaching techniques such as agitation using cyanide reagents, are considered to be the most selective methods. The temperature during the leaching process typically leading to an acceleration in the leaching rate. Maintaining an optimal pH is critical to prevent the formation of toxic and volatile hydrogen cyanide gas (HCN). The objective of this study is to design a leaching equipment starting with the tank and propeller, and to automatically monitoring pH and temperature during the leaching process using Arduino-based sensors accessible through both mobile applications and websites. Fuzzy logic algorithms are utilized to address the uncertainty of conventional logic. The pH and temperature testing obtained from the sensor device function effectively, demonstrating their ability to measure acidity levels and temperature in the solution. The collected data is transmitted to a server and stored in a database, facilitating the observation of temperature and pH changes throughout the leaching process. This research can contribute to the development of efficient and sustainable gold extraction methods.

1. PENDAHULUAN

Mineral berharga seperti emas, sebagai sumber daya strategis penting dan cadangan utama suatu negara, memiliki peran yang tak tergantikan dalam dinamika perdagangan internasional dan juga dalam mendukung industri pertahanan nasional. Emas merupakan komoditas yang sangat berharga di berbagai sektor. Seiring berkembangnya teknologi, pertumbuhan ekonomi, permintaan akan emas terus meningkat. Faktor ini mendorong perlunya studi mendalam mengenai teknologi benefisiassi bijih emas, guna mengoptimalkan pengolahan dan pemanfaatan sumber daya emas secara efisien dan berkelanjutan. Studi ini menjadi dasar ilmiah yang penting dalam mengarahkan kebijakan pengelolaan sumber daya emas secara lebih rasional dan berwawasan masa depan. Mengingat peran strategisnya, optimalisasi sumber daya emas tidak hanya akan berdampak pada pertumbuhan ekonomi, tetapi juga pada stabilitas keamanan nasional dan posisi tawar suatu negara di panggung internasional. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut tentang emas dan teknologinya menjadi hal yang mendesak untuk menghadapi tantangan global yang semakin kompleks. Dengan pemahaman ilmiah yang mendalam, pemerintah dapat menggali potensi emas secara berkelanjutan, menjaga kekayaan alam, dan memperkuat posisi negara di kancah global (Han et al., 2020).

Teknik pelindian emas sangatlah

bervariasi, namun metode pelindian emas dari bijihnya menggunakan larutan encer sianida melalui mekanisme elektrokimia, umumnya menggunakan bahan kimia natrium sianida (NaCN) untuk mengekstrak emas. Pelindian dengan sianida memiliki keuntungan melarutkan emas secara selektif, dan kompleks sianida yang dihasilkan sangat stabil (Deschênes, 2005). Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi pelindian emas yaitu, pH dan suhu yang cukup memberikan pengaruh terhadap hasil pelindian emas (Marsden & House, 2006).

Secara umum, proses pelindian bijih emas dapat dibagi menjadi tiga kategori utama: pelindian agitasi pada tekanan atmosfer, pelindian pada tekanan tinggi, dan pelindian tumpukan (Ode et al., 2020). Pada penelitian ini akan mengembangkan metode pelindian agitasi pada tekanan atmosfer. Terdapat beberapa faktor yang memengaruhi efisiensi proses pengadukan beberapa diantaranya berkaitan dengan karakteristik cairan seperti viskositas dan densitas, sementara yang lain berhubungan dengan aspek geometris seperti diameter wadah, panjang *impeller*, kecepatan rotasi, dan ketinggian *impeller* dari dasar wadah (Asiri, 2012).

Dalam teknik pelindian agitasi pada proses pengolahan mineral, pemantauan parameter pH sangatlah penting karena harus tetap dijaga agar berada dalam rentang yang aman, yakni

antara 10.3 hingga 10.8. Jika pH menjadi terlalu asam, akan terbentuk gas beracun HCN yang cenderung menguap dengan mudah, berpotensi menyebabkan penurunan tingkat *recovery* dan berbahaya bagi lingkungan. Oleh karena itu, *monitoring* pH secara terus-menerus menjadi suatu keharusan dalam pengolahan mineral dengan sianida.

Suhu merupakan parameter penting yang berpengaruh pada kinetika pelindian dalam proses hidrometalurgi. Umumnya, suhu yang lebih tinggi digunakan untuk meningkatkan laju pelindian. Penelitian pada suhu yang tepat dapat mendukung efisiensi proses dan hasil yang diinginkan dalam ekstraksi logam dari bijihnya (WANG et al., 2019). Pengaturan suhu yang tepat merupakan hal penting dalam upaya mengoptimalkan reaksi kimia yang terjadi selama proses pelindian dan memastikan pengambilan hasil yang maksimal (Silvas et al., 2015; Torres et al., 2018). Fe and Pb extraction from EW-PCB using citrate solutions is temperature dependent. •The initial leaching rate of all three metals increases with temperature. •Above 30 °C, the leaching rates decreases with time due to citrate degradation. •Citrate decomposition could severely impact the process viability. \nE-waste is a potential source of large quantities of metals. The ability of citrate solutions to recover base metals from these materials has been demonstrated. In the present study, the

effect of the temperature on base metal leaching capacity by the citrate solutions is determined. The material employed consisted of a mechanically prepared, gravity concentrated e-waste, with a metallic content greater than 90%. The leaching conditions were selected based on previous research performed by the authors (0.5 M sodium citrate, pH 4.5 and 20 g per liter e-waste concentrate).

Dalam penelitian ini telah menerapkan sistem pemantauan otomatis menggunakan sensor arduino untuk memantau kedua parameter tersebut. Jika kondisi pH dan suhu tidak memenuhi standar yang diharapkan, tindakan perbaikan akan diambil secara langsung untuk memastikan proses sianidasi dalam pengolahan mineral berjalan dengan efisien dan aman. Pemantauan otomatis ini akan memastikan bahwa parameter kritis tetap terjaga dalam batas yang aman, sehingga membantu meningkatkan keselamatan, efisiensi, dan hasil akhir dari proses pengolahan mineral. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk pengendalian pH menggunakan alat sensor dengan Arduino (Saputra, 2020; Sulistyo, 2019).

Paradigma *Internet of Things* (IoT) berhasil karena melibatkan beragam objek yang terdapat di lingkungan, termasuk Identifikasi Frekuensi Radio (*Radio Frequency Identification* (RFID)), sensor, aktuator, dan ponsel. Melalui skema pengalamatan unik, objek-objek tersebut dapat saling berinteraksi dan bekerja sama secara

efisien untuk mencapai tujuan bersama. IoT memungkinkan integrasi data dari berbagai sumber untuk memahami lingkungan secara holistik dan meningkatkan efisiensi dalam berbagai bidang, seperti otomasi industri, *smart city*, kesehatan, pertanian, dan lainnya. Dengan semakin berkembangnya teknologi IoT, potensi dampak positifnya terhadap kehidupan manusia semakin besar dan menjanjikan (Barbon et al., 2016) but in several cases these solutions require computational resources that are more advanced than simple, resource-limited micro-controllers. Surprisingly, in spite of being the basic ingredients of complex hardware–software systems, there does not seem to be a simple and flexible way to (1. Salah satu keunggulan menggunakan IoT adalah dapat memantau data pengamatan secara *real time* (Chowdury et al., 2019) communication system for inter and intra node communication and several sensors. Real-time data access can be done by using remote monitoring and Internet of Things (IoT).

Algoritma logika *fuzzy* adalah algoritma kecerdasan buatan yang memiliki keunggulan dalam kecepatan dan efisiensi dalam pendukung keputusan (Kusumadewi & Purnomo, 2010). Hal ini memungkinkan pengurangan konsumsi waktu yang dibutuhkan dalam proses pengambilan keputusan yang kompleks. Sejumlah literatur telah mengungkapkan penelitian yang dilakukan dalam bidang

ini. Sebagai contoh, Pranadjayaputra (Pranadjayaputra, 2023) melaporkan penerapan model logika *fuzzy* untuk optimalisasi pengaturan kebutuhan volume air pada *Sag Mill* terhadap *Power* dan *Millweight*. Selain itu, Razani et al. (Razani et al., 2013) telah mengembangkan sistem logika *fuzzy* untuk memprediksi tingkat kejatuhan atap di tambang batubara bawah tanah. Dengan demikian, metode logika *fuzzy* telah diterapkan dalam berbagai studi dan memberikan kontribusi yang signifikan dalam berbagai bidang.

Sistem logika *fuzzy* Mamdani umumnya digunakan dalam kasus-kasus yang melibatkan antarmuka (*interface*) input manusia, karena dapat dengan mudah menggambarkan aturan-aturan linguistik. Namun, untuk kasus yang membutuhkan ekspresi matematis berbobot linier, sistem *fuzzy* Sugeno merupakan pilihan yang lebih tepat. Sistem *fuzzy* Sugeno menghasilkan model yang efisien dan presisi, lebih mudah diimplementasikan dalam konteks matematis serta memiliki tingkat kesalahan yang sangat rendah (Rifai & Fitriyadi, 2023).

2. METODOLOGI

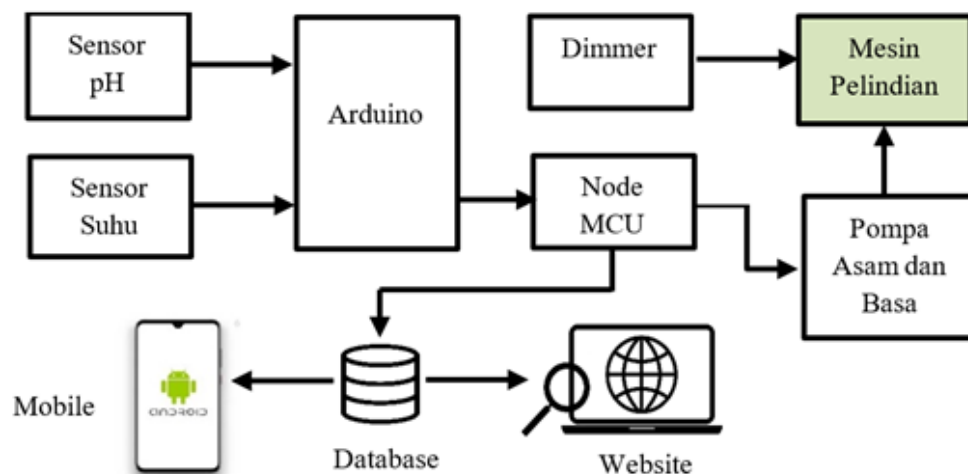
Beberapa langkah yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu pertama, melakukan literatur mengenai pengolahan emas dengan sianida dan teknologi arduino sebagai dasar pengetahuan untuk penelitian ini. Kedua, dilakukan persiapan kebutuhan peralatan yang

meliputi penyediaan alat-alat yang diperlukan untuk membuat alat pengolahan emas dengan sianida berbasis *Internet of Things* seperti Arduino, Sensor pH dan suhu, *water level*, pompa, *relay*, dan lainnya.

Selanjutnya, merancang sistem secara terperinci. Tahap ini mencakup perancangan perangkat keras seperti catu daya, rangkaian sensor pH, temperatur, interkoneksi WiFi, modul *driver relay*, *dimmer* AC, dan pompa air. Selain itu juga akan dirancang perangkat lunak menggunakan *software* IDE Arduino kemudian merancang aplikasi *mobile* berbasis android dan halaman *website*. Setelah proses perancangan selesai, tahap implementasi sistem akan dilakukan. Alat *prototype* pengolahan emas dengan teknik pelindian berbasis IoT akan dibuat berdasarkan desain sistem yang telah disusun sebelumnya. Hal ini melibatkan pembuatan alat, pengkodean dalam bahasa pemrograman, dan pelaksanaan teknis lainnya.

Pengujian sistem dan tinjauan kinerja alat dilakukan sesuai dengan perencanaan. Selama proses perancangan akan terus dilakukan perbaikan hingga sesuai dengan yang diharapkan.

Peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini termasuk Arduino, NodeMCU, Sensor pH, Sensor temperatur, Pompa DC, Catu daya, Motor AC, *Agitator*, dan tangka/wadah, yang akan mendukung jalannya kegiatan penelitian ini dengan baik. Metode penelitian yang terstruktur dan dukungan peralatan yang memadai, harapannya penelitian ini dapat memberikan kontribusi berharga dalam pengembangan teknologi pengolahan emas dengan teknik pelindian berbasis IoT. Untuk memudahkan pemahaman tentang cara kerja alat ini, sistem perancangan dibuat berdasarkan diagram blok, di mana setiap blok memiliki fungsi dan operasi tertentu. Diagram blok dari sistem ini dapat dilihat pada Gambar 1.



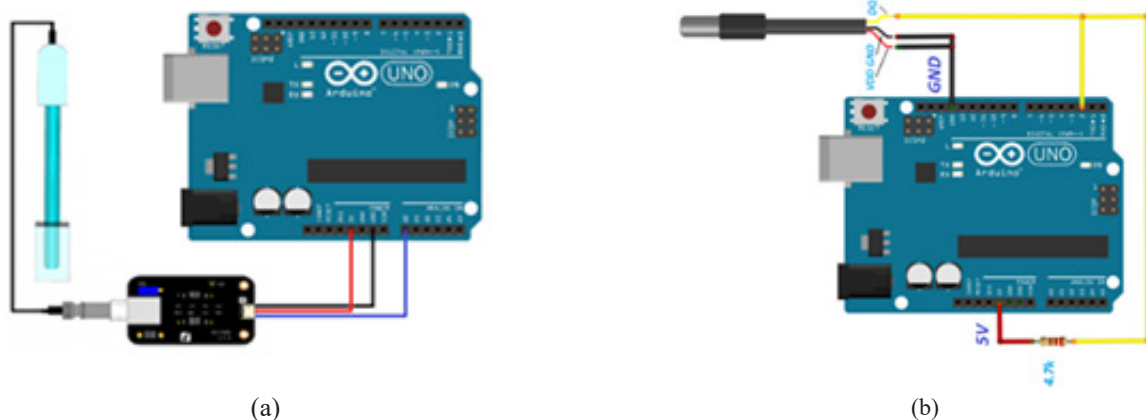
Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Berdasarkan diagram blok tersebut, dapat diketahui bahwa sistem yang telah dirancang yaitu NodeMCU yang terhubung dengan Arduino, alat sensor pH dan suhu akan mengirimkan data hasil pengukuran ke *server*, kemudian perangkat *mobile* (android) dan situs *web* akan mengambil data dari *server* untuk ditampilkan. NodeMCU digunakan sebagai perangkat *mikrokontroler* tambahan seperti Arduino, memungkinkan koneksi Wifi langsung dan komunikasi TCP/IP. Pada mesin pelindian termasuk perancangan *propeller* dan wadah untuk membantu proses pengadukan yang baik.

Sensor pH digunakan untuk mengukur tingkat keasaman air yang terbuat dari kaca yang sensitif, elektroda sensor memberikan pengukuran dengan respon cepat dan stabilitas pada suhu tinggi. Sedangkan sensor DS18B20 untuk mengukur suhu dalam larutan. Sensor suhu DS18B20 tahan air memiliki keluaran digital dan memberikan pembacaan suhu yang

akurat dalam rentang $0,50^{\circ}\text{C}$ pada suhu -100°C hingga $+850^{\circ}\text{C}$. Hanya memerlukan satu kabel untuk terhubung dengan mikrokontroler. Skema sistem sensor DS18B20 dan sensor pH dengan Arduino Uno ditunjukkan pada Gambar 2.

Pencampuran melibatkan penyebaran acak bahan, di mana satu bahan menyebar ke bahan lain, dan sebaliknya, menghasilkan campuran yang lebih seragam (homogen). Tenaga mekanis diperlukan untuk mengaduk bahan dan mencapai homogenitas. Pencampuran cairan umumnya dilakukan dalam wadah atau tangki, biasanya berbentuk silinder dengan sumbu vertikal. Pada penelitian ini, telah dirancang tangki khusus untuk proses pelindian, seperti yang ditunjukkan dalam gambar 3. Empat *baffle* ditempatkan di dalam tangki untuk memecah pusaran selama pengadukan dan pencampuran. *Baffle* adalah lembaran vertikal datar yang ditempelkan pada dinding tangki dan membentuk distribusi konsentrasi yang lebih baik di dalam tangki dengan membagi



Gambar 2. Rangkaian Sensor pH dengan Arduino (a) dan Sensor DS18B20 dengan Arduino (b)

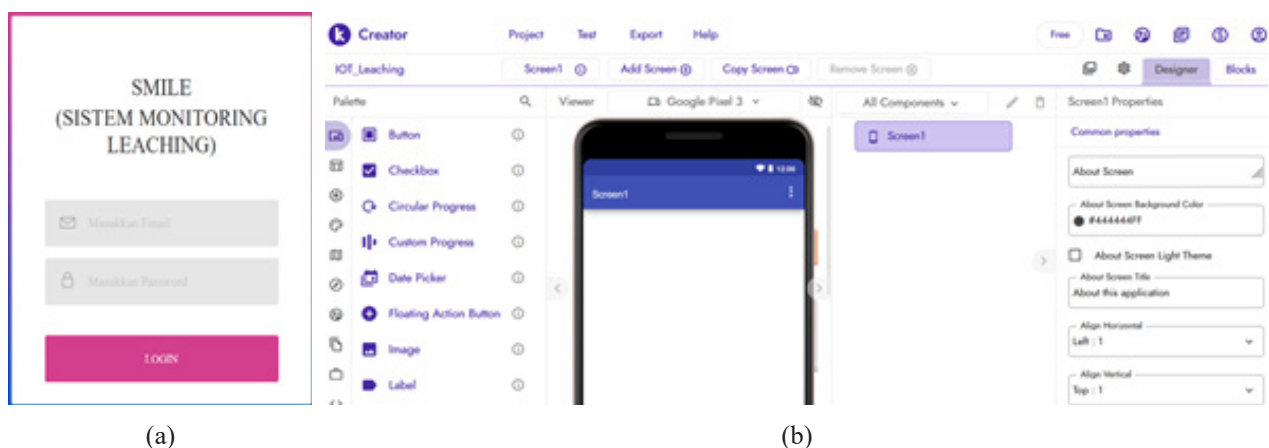


Gambar 3. Perancangan wadah, *Propeller* dan Mesin *Agitator*

pola aliran menjadi empat bagian. Pemilihan pengaduk yang tepat sangat penting untuk mencapai pengadukan dan pencampuran yang efektif. Pengaduk baling-baling dengan aliran aksial dan pengaduk turbin dengan aliran radial merupakan pilihan umum. Berikut adalah rancangan baling-baling untuk peralatan pelindian (Gambar 3).

Arduino Uno berfungsi sebagai pengolah data dari berbagai sensor untuk mengendalikan

keseluruhan sistem. Data tersebut kemudian dikirim ke NodeMCU dan disimpan dalam MySQL *database* melalui jaringan nirkabel WiFi. Untuk akses data melalui perangkat *mobile*, dikembangkan aplikasi *mobile* menggunakan aplikasi Kodular. Selain itu, sistem ini juga dapat diakses melalui halaman *website* yang menampilkan data secara grafik, tabel, dan manajemen pengelolaan sistem (Gambar 4).



Gambar 4. Rancangan Sistem *Monitoring Leaching* Berbasis *Web* (a) dan *Mobile* (b)

3. HASIL

3.1 Pengujian Sistem

Dalam sistem pelindian, pH sensor memegang peranan penting sebagai indikator untuk mengukur tingkat keasaman larutan. Untuk menguji kinerja alat, larutan CuFeSO_4 digunakan sebagai sampel untuk diuji menggunakan modul sensor pH dan suhu. Data dari sensor tersebut dikirim ke NodeMCU, kemudian diproses dan disimpan dalam *database* untuk dapat diakses melalui *webserver*. Dengan menggunakan jaringan nirkabel WiFi, data ini dapat dipantau secara *real-time* melalui perangkat *smartphone* atau komputer. Hasil dari pengujian alat sensor pH

dan suhu ini dapat diperoleh dari data yang telah tercatat (Tabel 1).

Kemudian data hasil pengujian alat sensor pH dan suhu dibandingkan dengan alat ukur lainnya yaitu OHAUS Starter 3100 (akurasi : $\pm 0.5^\circ\text{C}$ dan ± 0.01 pH) untuk mengetahui tingkat akurasi alat ukur yang digunakan seperti pada Gambar 5. Hasil perbandingan menunjukkan alat sensor yang digunakan masih kurang stabil meskipun nilai yang ditunjukkan sama. Data hasil pengukuran telah tercatat pada *database* yang sudah dibuat dan dapat diakses melalui *handphone* maupun komputer. Data ini mencakup informasi mengenai tingkat keasaman larutan pelindian

Tabel 1. Hasil Pengukuran Menggunakan Sensor pH dan Suhu

No	Alat Sensor		OHAUS Starter 3100	
	pH	Suhu	pH	Suhu
1	2.02	20.11	2.02	20.14
2	2.02	21.28	2.02	20.14
3	2.03	22.14	2.02	20.14
4	2.01	22.82	2.02	20.14
5	2.02	22.64	2.02	20.14



Gambar 5. Hasil pembacaan alat sensor (kiri) dan alat OHAUS Starter 3100 (kanan)

dan suhu ketika sedang melakukan proses pelindian. Dengan demikian, pengguna dapat memahami kinerja alat sensor pH dan suhu serta mengidentifikasi kondisi lingkungan yang sesuai untuk proses pelindian. Semua data tersebut memudahkan dalam pengambilan keputusan dan pengendalian sistem pelindian secara efisien dan efektif.

3.2 Impelementasi Logika *Fuzzy*

Perancangan logika *fuzzy* pada Sistem *Monitoring Leaching* (SMiLe) dengan metode Sugeno dan pengaturan derajat keasaman (pH) melibatkan tiga tahap sesuai aturan yang berlaku: fuzzifikasi, pembentukan aturan *fuzzy*, dan defuzzifikasi. Tahap pertama, fuzzifikasi, mengubah nilai *crisp* (numerik) menjadi himpunan *fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan (*membership function*). Sistem ini memiliki satu input, yaitu tingkat keasaman air (dalam pH), yang kemudian diubah menjadi himpunan *fuzzy*. Selanjutnya, sistem menghasilkan output berupa pompa air asam dan pompa air basa, yang juga dinyatakan dalam bentuk himpunan *fuzzy*. Proses ini menjadi langkah awal penting dalam metode logika *fuzzy* yang mampu meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam mengontrol pH dalam sistem pemantauan *leaching* (pelarutan).

Adapun tingkat keasaman yang ditentukan adalah sesuai dengan *interval* pH yang diinginkan pada proses pengolahan emas

Tabel 2. Klasifikasi kelas berdasarkan target tingkat keasaman

Tingkat keasaman (pH)	Kelas
0 – 10.3	Asam
10 – 11	Netral
10.7 – 14	Basa

menggunakan sianida yaitu netral (Tabel 2). Setelah menentukan nilai pengaruh dari tingkat keasaman cairan, pada jurnal ini berhasil menghasilkan kurva trapesium yang menggambarkan hubungan antara tingkat keasaman dan variabel lain dalam penelitian. Penelitian ini menyajikan hasil analisis data yang relevan dan memberikan kontribusi penting dalam memahami hubungan antara tingkat keasaman cairan dengan variabel lainnya. Dengan gambar kurva trapesium dapat memberikan informasi yang berharga dalam memahami hasil penelitian secara lebih mendalam. Berikut ini adalah derajat keanggotaan tingkat keasaman berdasarkan kelas:

Keanggotaan Asam

$$1, \quad x \leq 0$$

$$\frac{10.3-x}{10.3}, \quad 0 \leq x \leq 10.3$$

$$0, \quad x \geq 10.3$$

Keanggotaan Netral

$$0, \quad x \leq 10$$

$$\frac{x-10}{0.5}, \quad 10 \leq x \leq 10.5$$

$$\frac{11-x}{0.5}, \quad 10.5 \leq x \leq 11$$

$$0, \quad x \geq 11$$

Keanggotaan Basa

$$0, \quad x \leq 10.7$$

$$\frac{x-11}{3.3}, \quad 10.7 \leq x \leq 14$$

$$1, \quad x \geq 14$$

Pada sistem *monitoring leaching*, terdapat dua *output*, yaitu pompa asam dan pompa basa, yang bertujuan untuk mengontrol proses pelindian. Kedua *output* ini memiliki dua parameter, yaitu hidup dan mati (0 dan 1), sebagai representasi dari kondisi pompa aktif atau nonaktif. Berikut ini adalah derajat keanggotaan dari dua *output* pompa:

Keanggotaan Pompa Asam

$$1, \quad y \leq 0,$$

$$0, \quad y \geq 1$$

Keanggotaan Pompa Basa

$$1, \quad y \leq 0$$

$$0, \quad y \geq 1$$

Dalam perancangan aturan *fuzzy*, dirancang menggunakan kondisi yang diinginkan untuk menentukan perubahan nilai *output* berdasarkan tingkat keasaman (pH). Tabel 3 memperlihatkan aturan *fuzzy* yang dibuat untuk sistem ini. *Input* tingkat keasaman (pH) memiliki tiga nilai linguistik, yaitu asam, netral, dan basa. Berdasarkan kombinasi nilai keanggotaan dari setiap himpunan *fuzzy*, terdapat tiga aturan *fuzzy* yang dihasilkan, yang akan mempengaruhi keputusan untuk menghidupkan atau mematikan pompa air asam dan basa.

Tabel 3. Aturan Fuzzy Logic

No	Input	Output	
	pH	Pompa Asam	Pompa Basa
1	Asam	Mati	Hidup
2	Netral	Mati	Mati
3	Basa	Hidup	Mati

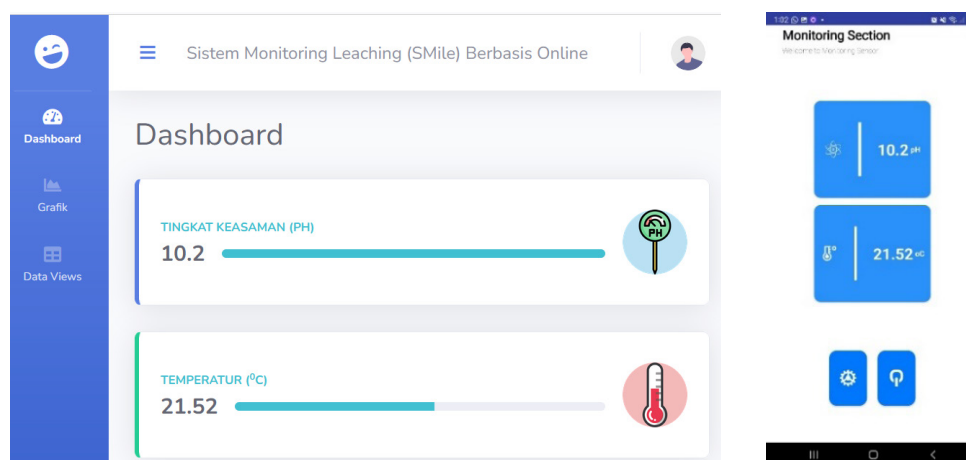
Aturan *fuzzy* dibentuk dengan menggunakan fungsi *if-then*, dimana setiap kondisi masukan (*input*) akan menghasilkan suatu keluaran (*output*) yang dinyatakan dalam bentuk himpunan *fuzzy*. Tahap ini sangat penting dalam pengambilan keputusan karena memberikan fleksibilitas untuk mengatasi ketidakpastian dan ambiguitas dalam data masukan. Dengan demikian, metode logika *fuzzy* ini menjadi sangat relevan dan efektif dalam mengendalikan sistem pemantauan pelindian

dan menentukan pengoperasian pompa air asam dan pompa air basa berdasarkan kondisi lingkungan yang spesifik. Proses pengujian dilakukan menggunakan *fuzzy logic* dengan bantuan dari aplikasi *matlab*, penggunaan *fuzzy logic* ini bertujuan untuk menentukan efisiensi sistem kontrol yang dibuat.

Dengan mengacu pada aturan-aturan yang telah disusun sebelumnya, penerapan sistem *fuzzy* dilakukan pada program MATLAB *toolbox* dengan memberikan nilai tingkat keasaman pH=10.2 sebagai *input*. Hasil dari proses ini menunjukkan bahwa pompa asam dalam kondisi “Mati”, mengindikasikan bahwa pompa tersebut tidak akan aktif. Demikian juga dengan status pompa basa adalah “Mati”, yang menandakan bahwa larutan dalam tangka telah memnuhi nilai pH yang diharapkan. Penggunaan sistem *fuzzy* pada program ini

memungkinkan pengambilan keputusan berdasarkan kondisi yang terdefinisi secara linguistik, sehingga sistem dapat beradaptasi dengan perubahan tingkat keasaman secara efisien. Setelah dilakukan simulasi menggunakan program MATLAB, selanjutnya diimplementasikan kedalam Arduino. Pengendalian tingkat keasaman pH diharapkan dapat juga mengendalikan proses pelindian.

Hasil dari data pengukuran pH dan implementasi *fuzzy logic* tersebut dilakukan melalui pemrograman Arduino kemudian dikirimkan ke *database server*. Untuk pemantauan nilai data pH dan suhu dapat dilakukan dengan menggunakan aplikasi *mobile* atau melalui halaman *website*. Gambar di bawah ini adalah hasil dari penerapan *fuzzy logic* pada pompa sehingga nilai pH telah sesuai yang diharapkan.



Gambar 6. Halamam *Monitoring Leaching* berbasis *Web* (kiri) dan Aplikasi *Mobile* (kanan)

4. PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pembacaan alat sensor pH dan temperatur maka dapat diketahui alat dapat berfungsi dengan baik dan data pembacaan alat sensor dapat dikirimkan dan disimpan ke dalam *database*. Hal tersebut dapat ditunjukkan dengan ditampilkannya data hasil pengukuran alat pada halaman *website* dan aplikasi android yang telah dibuat. Data yang ditampilkan pada halaman *dashboard website* maupun aplikasi *android* adalah data terakhir dari hasil pembacaan alat sensor pH dan temperatur, dalam hal ini adalah derajat keasaman dan suhu larutan.

Aturan *fuzzy* yang telah disusun dan diterapkan kedalam pemograman Arduino dapat berjalan dengan baik. Kedua pompa dapat berjalan sesuai aturan yang telah dibuat yaitu pada saat kondisi larutan pada tangki yaitu asam maka pompa basa akan aktif dan menambahkan larutan basa kedalam tangki, demikian sebaliknya jika larutan pada tangki adalah basa maka pompa asam akan aktif dan menambahkan larutan asam kedalam tangka hingga mencapai kondisi netral.

5. KESIMPULAN

Perancangan alat pelindian berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan penerapan *fuzzy logic* telah berhasil diimplementasikan secara baik. Pengujian pada perangkat keras, seperti sensor pH dan temperatur, menunjukkan hasil yang

baik, mampu mengukur derajat keasaman dan suhu larutan. Data pengukuran dari sensor dapat diproses dan berhasil diintegrasikan ke dalam *database* melalui NodeMCU dengan baik. Pengaturan pompa berdasarkan aturan *fuzzy logic* dapat berjalan sesuai dengan perancangan. Halaman *dashboard* berbasis *website* dan aplikasi android juga mampu menampilkan data pengukuran sensor dengan baik sesuai hasil data pengukuran, memungkinkan pemantauan proses pelindian secara efisien yang dapat dilakukan dimana saja dan kapan saja. Penelitian ini memiliki keterbatasan dalam hal kalibrasi terhadap hasil pengukuran pH dan suhu agar lebih akurat sehingga dapat diimplementasikan di industri. Dengan demikian, alat ini menjanjikan potensi untuk digunakan dalam pengolahan emas dengan teknik agitasi yang lebih efisien dan berbasis teknologi *artificial intelligence* di masa depan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Asiri, S. (2012). *Design and Implementation of Differential Agitators to Maximize Agitating Performance*. 2(6), 98–112. <https://doi.org/10.5923/j.mechanics.20120206.01>
- Barbon, G., Margolis, M., Palumbo, F., Raimondi, F., & Weldin, N. (2016). Taking Arduino to the Internet of Things: The

- ASIP programming model. *Computer Communications*, 89–90, 128–140.
- Chowdury, M. S. U., Emran, T. Bin, Ghosh, S., Pathak, A., Alam, M. M., Absar, N., Andersson, K., & Hossain, M. S. (2019). IoT based real-time river water quality monitoring system. *Procedia Computer Science*, 155, 161–168. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.08.025>
- Deschênes, G. (2005). Advances in the cyanidation of gold. *Developments in Mineral Processing*, 15(C), 479–500. [https://doi.org/10.1016/S0167-4528\(05\)15020-0](https://doi.org/10.1016/S0167-4528(05)15020-0)
- Han, J., Li, X., & Dai, S. (2020). Electrochemical influence of quartz on cyanide leaching of gold. *Chemical Physics Letters*, 739(September 2019), 136997. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2019.136997>
- Kusumadewi, S., & Purnomo, H. (2010). Aplikasi Logika Fuzzy untuk pendukung keputusan. *Yogyakarta: Graha Ilmu*, 2.
- Marsden, J. O., & House, C. I. (2006). *The Chemistry of Gold Extraction, Second Edition*. Society for Mining, Metallurgy & Exploration, Incorporated. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/auckland/detail.action?docID=464583>
- Ode, L., Rofiek, F., & Saputra, H. (2020). *Studi Ekstraksi Bijih Emas Asal Pesawaran dengan Metode Pelindian Agitasi dalam Larutan Sianida*. 4(December), 103–109. <https://doi.org/10.35472/jsat.v4i2.365>
- Pranadjayaputra, F. (2023). *Pemodelan Kebutuhan Volume Air Pada Sag Mill Terhadap Power dan Millweight Menggunakan Fuzzy Logic*. PEP Bandung.
- Razani, M., Yazdani-Chamzini, A., & Yakhchali, S. H. (2013). A novel fuzzy inference system for predicting roof fall rate in underground coal mines. *Safety Science*, 55, 26–33.
- Rifai, D., & Fitriyadi, F. (2023). *Penerapan Logika Fuzzy Sugeno dalam Keputusan Jumlah Produksi Berbasis Website*.
- Saputra, G. A. (2020). Analisis Cara Kerja Sensor pH-E4502C Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno Untuk Merancang Alat Pengendalian pH Air Pada Tambak. *Jurnal Universitas Lampung, December*, 1–62. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32110.84809>
- Silvas, F. P. C., Jiménez Correa, M. M., Caldas, M. P. K., de Moraes, V. T., Espinosa, D. C. R., & Tenório, J. A. S. (2015). Printed circuit board recycling: Physical processing and copper extraction by selective leaching. *Waste Management (Elmsford)*, 46, 503–510.

- Sulistyo, M. T. (2019). Sistem Pengukuran Kadar Ph , Suhu , Dan Sensor Turbidity Pada Limbah Rumah Sakit Berbasis Arduino UNO Waterproof Temperature Sensor DS18B20. *Jurnal Elektro SI ITN Malang*, 1–10.
- Torres, R., Segura-Bailón, B., & Lapidus, G. T. (2018). Effect of temperature on copper, iron and lead leaching from e-waste using citrate solutions. *Waste Management (Elmsford)*, 71, 420–425.
- WANG, G. rong, LIU, Y. yuan, TONG, L. lin, JIN, Z. nan, CHEN, G. bao, & YANG, H. ying. (2019). Effect of temperature on leaching behavior of copper minerals with different occurrence states in complex copper oxide ores. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 29(10), 2192–2201. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(19\)65125-3](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(19)65125-3)