

I-FINDI : PENGOLAHAN LIMBAH CAIR SAMPAH ORGANIK (LEACHATE) DENGAN REVERSE OSMOSIS TERINTEGRASI SOLAR CELL SYSTEM DAN IOT BERBASIS FILTRASI AERASI BIOREMEDIASI

Bayu Aji^{1*}, Staniya Uswatun Khasanah²⁾, Riandra Restu Mahestra³⁾, Sita Alfia Kusprihatini⁴⁾
^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan
*Email Korespondensi : 2215019264@webmail.uad.ac.id

Abstrak

Pertambahan populasi penduduk meningkatkan volume limbah, termasuk limbah air lindi (*Leachate*) dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Air lindi mengandung senyawa anorganik dan logam berat yang dapat mencemari air tanah. Pengelolaan air lindi diperlukan untuk meningkatkan kualitas air di pemukiman dan mengurangi dampak berbahaya. Solusi alternatif yang dapat diterapkan adalah pemanfaatan teknologi *Internet of Things* untuk mengolah air lindi menjadi pupuk organik bagi sektor pertanian. Penelitian ini mengembangkan sistem filtrasi limbah air lindi pintar dengan metode *Research and Development* (RnD) menggunakan model *Borg and Gall* (1983) terintegrasi *Internet of Things*. Langkah-langkah penelitian meliputi analisis kebutuhan, perancangan konsep, *brainstorming idea*, pembuatan *prototype*, pengujian, dan implementasi. Sistem I-FINDI menggunakan teknologi *reverse osmosis* untuk memisahkan zat-zat terlarut berbahaya. Sistem ini dilengkapi dengan *electric pump & electric turbine*, *solar cell system*, dan sensor IoT untuk memantau kualitas air secara *real-time* ke platform berbasis *cloud* dan aplikasi. Pengujian menunjukkan bahwa I-FINDI mampu mengurangi kandungan zat tercemar dalam air lindi hingga di bawah ambang batas, dengan efisiensi penyaringan mencapai 98% dan kualitas output memenuhi standar sebagai pupuk cair. Pengembangan I-FINDI sejalan dengan Pembangunan SDGS Pilar 12 untuk mewujudkan kota dan pemukiman bersih serta meminimalkan limbah produksi makanan (organik) untuk menghadapi era Revolusi Industri 4.0 dan *Society 5.0*.

Kata kunci: limbah cair organik (*leachate*), filtrasi, *internet of things*, *reverse osmosis*, aerasi

Abstract

Population growth increases the volume of waste, including leachate from landfills. Leachate contains inorganic compounds and heavy metals that can contaminate groundwater. Leachate management is required to improve water quality in settlements and reduce harmful impacts. An alternative solution that can be applied is the use of Internet of Things technology to process leachate water into organic fertilizer for the agricultural sector. This research developed a smart leachate waste water filtration system with the Research and Development (RnD) method using the Borg and Gall (1983) model integrated with the Internet of Things. The research steps include needs analysis, concept design, brainstorming ideas, prototyping, testing, and implementation. The I-FINDI system uses reverse osmosis technology to separate harmful solutes. The system is equipped with an electric pump & electric turbine, solar cell system, and IoT sensors to monitor water quality in real-time to a cloud-based platform and app. Tests show that I-FINDI is able to reduce the content of polluted substances in leachate water to below the threshold, with filtering efficiency reaching 98% and output quality meeting the standard as liquid fertilizer. The development of I-FINDI is in line with SDGS Pillar 12 Development to realize

clean cities and settlements and minimize food production waste (organic) to face the era of industrial revolution 4.0 and Society 5.0.

Keywords: organic liquid waste (leachate), filtration, internet of things, reverse osmosis, aeration bioremediation

PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk secara tidak langsung mempengaruhi peningkatan jumlah sampah karena daya konsumsi yang semakin tinggi. Pengolahan sampah yang berkelanjutan merupakan salah satu bentuk tanggung jawab atas konsumsi dan produksi yang telah dilakukan. Salah satu solusi untuk pengelolaan sampah adalah Tempat Pembuangan Akhir (TPA, n.d.). Namun, banyak TPA masih berfokus hanya pada penanganan sampah, sehingga pengelolaan limbah tidak mendapat perhatian yang memadai. Hal ini disebabkan oleh peningkatan jumlah sampah yang melampaui kapasitas pengelolaan TPA (Beby, 2020). Menurut data dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), jumlah sampah yang dihasilkan di Indonesia mencapai 35,93 juta ton sepanjang tahun 2022 (Azhar et al., 2023). Jumlah tersebut naik 22,04% secara tahunan (*year-on-year/yoy*) dari 2021 yang sebanyak 29,44 juta ton, hal ini terus meningkat setiap tahunnya yang dapat menyebabkan terjadinya ledakan gas metana, timbulnya bau tidak sedap, dan polusi udara di sekitar masyarakat. Selain itu, timbunan sampah yang terus meningkat menghasilkan limbah air lindi (*Leachate*) yang mencemari lingkungan dan mengancam ketersediaan air bersih bagi masyarakat.

Lokasi TPA pada umumnya berada jauh dari pemukiman warga, namun kenyataannya masih banyak penduduk yang bertempat tinggal di sekitaran TPA, selama ini air lindi mengalir begitu saja ke pemukiman dan sawah warga melalui rembesan dari dasar TPA yang mencemari air tanah di bawahnya (Alfahmi Ristianto, n.d.). Pengolahan air lindi TPA perlu dimaksimalkan agar dampak negatif bagi masyarakat dapat diminimalisir, salah satu solusi alternatif pengolahan air lindi yaitu pengolahan kembali menjadi produk pupuk organik cair dengan tujuan dapat mengurangi produk limbah, mengurangi pencemaran tanah, serta dapat mengurangi pencemaran lingkungan (Alimuddin et al., n.d.). Pengolahan limbah air lindi sesuai dengan tujuan dari *Sustainable Development Goals* (SDGs) pilar 12, yaitu *Responsible Consumption and Production*, dengan tujuan menjadikan kota dan pemukiman yang bersih, meminimalkan limbah produksi makanan (organik) dan berkelanjutan. Dalam hal ini TPA dan masyarakat membutuhkan perangkat pengolahan limbah sampah organik (I-FINDI) berupa air lindi yang mudah diakses, mobile, dan memberikan informasi secara *real time* untuk menjaga kesehatan dari dampak pencemaran lingkungan. Pengelolaan limbah air lindi dengan rancangan perangkat terbaru diharapkan mampu dalam mengatasi permasalahan sampah, sehingga pada 2045 masyarakat dapat secara mandiri dalam pengolahan limbah sampah.

Diharapkan penelitian ini memberikan manfaat, khususnya bagi TPA Piyungan. Melalui inovasi pengurangan limbah cair organik (Air Lindi), penelitian ini mengubah limbah tersebut menjadi produk bernilai tinggi, yakni pupuk cair organik bernutrisi yang sangat bermanfaat bagi sektor pertanian. Dengan demikian, tidak hanya masalah limbah cair yang teratasi, tetapi juga tercipta peluang ekonomi baru melalui produk yang memiliki nilai jual tinggi.

Selain itu, penelitian ini memberikan dampak positif bagi masyarakat setempat dengan mengurangi polusi udara. Pengelolaan limbah yang lebih baik akan mengurangi emisi bau dan gas berbahaya, sehingga meningkatkan kualitas udara dan kesehatan lingkungan sekitar TPA Piyungan. Bagi peneliti, penelitian ini menawarkan kesempatan untuk berkontribusi dalam penerapan solusi nyata terhadap masalah lingkungan, sekaligus memperkaya pengetahuan dan pengalaman dalam bidang inovasi pengelolaan limbah dan teknologi pertanian. Hal ini dapat menjadi dasar untuk penelitian lebih lanjut dan pengembangan teknologi yang lebih canggih di masa depan.

METODE PENELITIAN

Jenis metode penulisan yang digunakan adalah penelitian deskriptif kualitatif karena bermaksud menafsirkan dan membuat gambaran mengenai konsep konsep teknologi filtrasi air lindi menggunakan metode *Research and Development* (RnD) pengembangan *Borg and Gall* (1983). Penulis memperoleh sumber dari data sekunder yang berasal dari jurnal terdahulu. Penulis melakukan kegiatan membaca buku, jurnal, dan literatur yang tersedia dalam bentuk pustaka cetak maupun elektronik, serta studi terdahulu yang memiliki kaitan dengan tujuan dan objek penulisan.

Penulis mengumpulkan data dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, dan internet untuk mendukung penelitian ini. Data tersebut dianalisis untuk menyusun rancangan alat, menarik kesimpulan, dan memberikan saran. Penulis juga mengamati kebutuhan lingkungan terkait isu yang diteliti dan melakukan analisis SWOT untuk menentukan keunggulan dan posisi produk dibandingkan pesaing. Proses pengembangan produk mencakup studi pustaka, observasi, brainstorming ide, perancangan prototype, pengujian skala laboratorium dan lingkungan, sosialisasi, komersialisasi, implementasi, serta evaluasi dan monitoring. Validasi produk dilakukan secara kualitatif melalui diskusi kelompok terarah (FGD) dan *brainstorming* dengan para ahli, serta secara kuantitatif untuk memastikan kelayakan dan efektivitas alat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Permasalahan yang kerap dialami oleh TPA sampah yaitu adanya limbah air lindi yang berasal dari tumpukan sampah. Pengelolaan limbah air lindi belum dilakukan secara maksimal dan sering diabaikan sehingga dapat menimbulkan efek berbahaya kepada masyarakat, seperti pencemaran air, kerusakan ekosistem tanah, iritasi kulit, dan mencemari lingkungan dengan menimbulkan bau tidak sedap. Di era teknologi sekarang sudah seharusnya TPA sampah dapat mengikuti perkembangan teknologi dalam pengelolaan limbah. Salah satunya adalah *Internet of Things* yang memberikan kemudahan, efisiensi dan pemantauan dapat secara *real-time*. Oleh karena itu, IoT dapat diintegrasikan *smart system filtration* untuk mengubah limbah air lindi menjadi pupuk cair dengan memanfaatkan *reverse osmosis*, produk ini dinamakan I-FINDI. Pada teknologi plasma akan memecah komponen berbahaya dalam limbah air lindi, sedangkan *reverse osmosis* akan menyaring partikel-partikel yang tersisa. Proses ini didukung oleh *electric pump* dan *electric turbin* tenaga surya, serta fitur *dual axis rotation* untuk optimalisasi panel surya. Sensor RTC dan sensor kualitas air akan memonitor kondisi sistem, dan data akan dikirimkan melalui aplikasi berbasis IoT untuk pengawasan jarak jauh, kemudian terdapat konsep biopori *system* sebagai pembuatan pupuk cair.

Inovasi I-FINDI

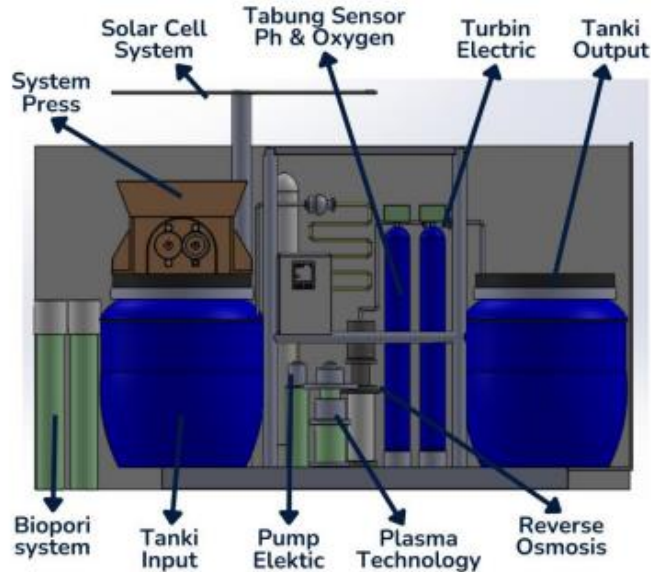
Dalam pengembangannya, dilakukan studi pustaka dan observasi kebutuhan lapangan. Adapun inovasi yang ditawarkan pada I-FINDI, yaitu:

- a. *Plasma Technology* untuk memecah dan menghilangkan zat-zat berbahaya dalam limbah air lindi
- b. *Reverse Osmosis* untuk memfilter limbah air lindi melalui membran untuk menghilangkan zat-zat terlarut dan kontaminan.
- c. *Electric Pump* untuk menggerakkan aliran limbah air melalui sistem pengolahan
- d. *Electric Turbin* dapat menghasilkan energi listrik dari aliran limbah air atau energi yang terbuang untuk memperkuat sumber daya energi berkelanjutan
- e. *Solar cell System* dapat menghasilkan energi listrik dari sinar matahari untuk memasok daya pada sistem, mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional.
- f. *Dual axis rotation* yang didesain dengan *Light Dependent Resistant (LDR)* sensor Untuk mengatur orientasi panel surya untuk mengoptimalkan penangkapan energi matahari.
- g. *Sensor Real Time Clock (RTC)* untuk memantau waktu secara real-time untuk mengatur operasi sistem pengolahan limbah secara otomatis pada waktu-waktu tertentu.
- h. Sensor kualitas air (pH dan Oksigen) untuk mengukur tingkat pH dan konsentrasi oksigen dalam limbah air untuk memastikan kualitas pupuk cair yang dihasilkan sesuai standar.
- i. *Biopori system* digunakan untuk proses pembuatan kompos dari bahan organik yang terbuang atau tidak terpakai.
- j. Aplikasi digunakan untuk memfasilitasi pengguna dalam memantau dan mengendalikan sistem secara jarak jauh melalui perangkat pintar seperti ponsel atau komputer.

Analisis Perancangan I-FINDI

I-FINDI dirancang dengan metode *Research and Development (RnD)* menggunakan model Borg and Gall (1983), yang terdiri dari beberapa langkah, yaitu: penelitian dan pengumpulan data, perencanaan, pengembangan draf produk, uji coba awal, uji coba lapangan, revisi produk, dan uji coba lapangan lanjutan. Dalam implementasinya, pengembangan akan dilakukan hingga tahapan diseminasi dan penerapan langsung pada pengelolaan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah. Alat I-FINDI berbasis *Internet of Things* dan terhubung dengan sebuah aplikasi, sehingga pemantauan bisa dilakukan secara jarak jauh dengan data yang *real-time*. Dalam pembuatannya, digunakan beberapa komponen elektronika serta alat dan bahan yang dapat dilihat pada Gambar 1 dan Tabel 2.

Gambar 1. Pembagian Komposisi Komponen I-FINDI



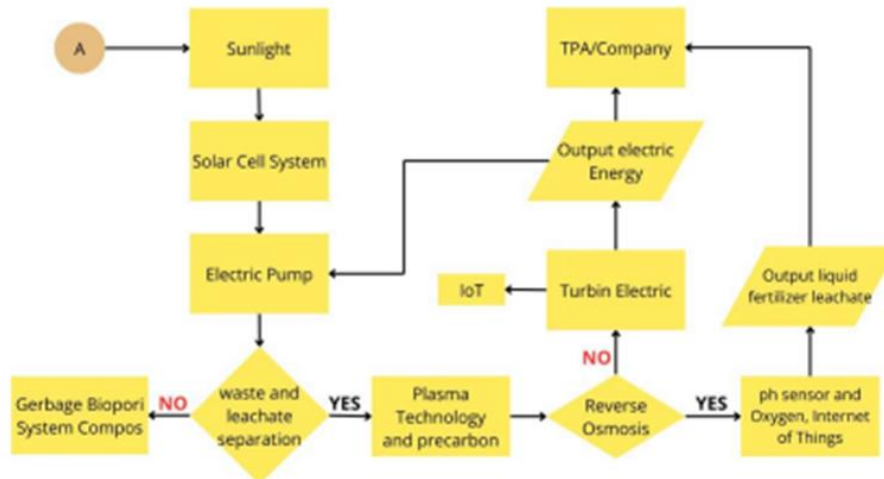
Tabel 1. Komponen dan Fungsinya pada I-FINDI

No.	Nama Komponen	Fungsi
1.	Kabel jumper	Penyambung antar komponen elektronika
2.	Plasma generator	Pemroduksi plasma yang akan digunakan untuk memecah dan menghilangkan zat-zat berbahaya dalam limbah air lindi.
3.	Reverse osmosis membrane	Penyaring limbah air lindi melalui membran untuk
4.	Electric pump	Memompa aliran limbah air melalui sistem pengolahan.
5.	Electric turbin	Penghasil energi listrik dari aliran limbah air atau energi yang terbuang untuk memperkuat sumber daya energi berkelanjutan
6.	Dual axis rotation system dengan sensor light dependent resistor (LDR)	Mengatur orientasi panel surya untuk mengoptimalkan penangkapan energi matahari
7.	Sensdor real-time clock (RTC)	Memantau waktu secara real-time untuk mengatur operasi sistem pengolahan limbah secara otomatis pada waktu-waktu tertentu.
8.	Water quality sensors	Mengukur tingkat pH dan konsentrasi oksigen dalam limbah Air untuk memastikan kualitas pupuk cair yang dihasilkan sesuai standar
9.	Pipa PVC 10 Inch 60-100 cm	Digunakan untuk membuat biopori system kompos organik
10.	Panel surya	Menghasilkan energi listrik dari sinar matahari untuk memasok daya pada sistem, mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional.

I-FINDI dibuat dengan dimensi 150 cm x 70 cm x 120cm pada desain awal menggunakan *software solidwork 2019*. Peletakan komponen I-FINDI dilakukan dengan berbagai

pertimbangan termasuk sensor ph & oksigen untuk mengatur besaran standar kulaitas pupuk cair yang dihasilkan dari air lindi limbah organik. I-FINDI merupakan solusi inovatif untuk mengelola limbah air lindi dari sampah organik menjadi produk yang bernilai, yaitu pupuk cair, dengan memanfaatkan teknologi plasma, *reverse osmosis*, dan konektivitas IoT. Meskipun memiliki tantangan dan risiko tertentu, manfaat lingkungan dan ekonomi yang diharapkan dari proyek ini sangat besar.

Analisis Cara Kerja Sistem I-FINDI



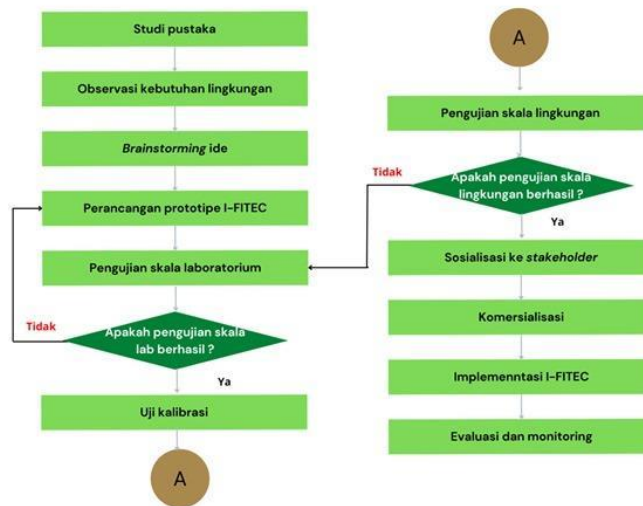
Gambar 2. Flowchart Cara Kerja Filtration System I-FINDI

Secara garis besar, I-FINDI dibagi menjadi beberapa bagian *input*, proses, *output* dan system IoT. Pada bagian *input*, terdapat pelacak surya dan fitur rotasi sumbu ganda yang memungkinkan panel surya model *solar cell system* untuk mengikuti arah sinar matahari secara maksimal. Teknologi ini menggunakan sensor *Light Dependent Resistant* (LDR) untuk menggerakkan panel surya secara otomatis sesuai dengan arah matahari, serta sensor RTC (*RealTime Clock*) untuk mengatur pengikutan matahari secara manual, kemudian pilah antara sampah organik dan air lindi dengan system press. Selanjutnya bagian proses, memiliki peran penting dalam mengolah limbah. Energi matahari yang terkumpul oleh panel surya digunakan sebagai *input* listrik untuk menggerakkan pompa, yang akan mengalirkan limbah ke dalam sistem pengolahan air. Kemudian pemilahan air dan sampah melalui pengepressan, lalu jika YES akan lanjut proses selanjutnya, jika NO maka akan melalui proses Biopori system. Proses ini dimulai dengan penyaringan tiga segmen dan pemecahan senyawa menggunakan *plasma technology*. Setelah melalui proses *plasma*, air lindi kemudian diproses lebih lanjut menggunakan system penyaringan *reverse osmosis* untuk menghilangkan sisa senyawa terlarut zat berbahaya melalui sensor kualitas air (pH dan Oksigen) dan mengalir melalui proses turbin listrik berbasis IoT untuk mengonversi energi aliran air menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk mendukung operasi sistem secara keseluruhan. *Output* yang dihasilkan adalah air lindi bebas zat berbahaya dengan berbagai proses terintegrasi teknologi dan *Internet of Things*, sehingga dapat menghasilkan air limbah lindi yang berguna bagi semua jenis tanaman sebagai pupuk cair dengan kualitas sesuai standar.

Tahap Implementasi I-FINDI

Proses pengembangan bentuk permulaan dari produk dilakukan pada proses pengkajian teori- teori terbaru dan relevan untuk memecahkan masalah dengan membuat produk baru,

dilanjutkan dengan proses pembuatan prototipe I-FINDI, kemudian proses validasi produk. Dalam validasi produk artinya uji kelayakan terhadap produk baik secara kualitatif, kuantitatif, maupun keduanya. Uji validasi produk secara kualitatif dapat dilakukan melalui *expert judgment* bisa dengan mengadakan *focus group discussion (FGD)/brainstorming* ide para ahli yang relevan dengan masalah/obyek yang diteliti atau teknik Delphi kepada pakar yang sama dengan pakar FGD. Bedanya, kalau FGD para pakar bertemu untuk membahas konsep model yang dibuat peneliti dalam satu forum, tetapi kalau Delphi dengan cara mengirikan konsep model kepada satu per satu pakar/ahli untuk diberi masukan, dilanjutkan dengan proses revisi produk.



Gambar 3. Tahap Implementasi Gagasan

Pada tahap ke-IV dilakukannya Uji efektifitas I-FINDI dengan (1) Uji coba kelompok terbatas, dan (2) Uji coba kelompok lebih luas. Penentuan subyek uji coba yang biasa dipilih dengan purposive sampling yaitu pemilihan subyek coba yang dikendalikan oleh tujuan penelitian, jika ada masalah, maka akan dilakukan proses revisi/perbaikan dari produk. Tahap terakhir adalah tahap diseminasi, ditahap ini Ketika produk dikatakan berhasil, maka produk I-FINDI akan dilakukan sosialisasi kepada stakeholder untuk kerja sama, komersialisasi dan implementasi kepada mitra atau Tempat Pembuangan Akhir (TPA).

KESIMPULAN

I-FINDI, sebuah sistem filtrasi cerdas berbasis *Internet of Things (IoT)* yang inovatif. I-FINDI menggunakan teknologi plasma untuk menghilangkan zat berbahaya dan reverse osmosis untuk menyaring kontaminan. Sistem ini didukung oleh pompa elektrik, turbin tenaga surya, dan panel surya dengan *dual axis rotation* untuk mengoptimalkan penggunaan energi. Sensor kualitas air dan *Real Time Clock (RTC)* memastikan pemantauan yang akurat, sementara aplikasi berbasis IoT memungkinkan pengawasan dan kontrol jarak jauh secara *real-time*. Sensor kualitas air dan *Real Time Clock (RTC)* memastikan pemantauan yang akurat, sementara aplikasi berbasis IoT memungkinkan kontrol jarak jauh dan *real-time*. Melalui model Borg dan Gall meliputi penelitian pendahuluan, pengembangan model, validasi, uji efektifitas, dan diseminasi sistem ini terbukti mampu mengubah limbah air lindi menjadi pupuk cair yang aman dan berkualitas, sekaligus menghasilkan energi terbarukan. Implementasi I-FINDI tidak hanya menawarkan solusi teknis yang canggih tetapi juga membawa manfaat lingkungan dan ekonomi yang signifikan, menjadikannya terobosan penting dalam pengelolaan limbah di TPA.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi tak tergantikan dalam pelaksanaan penelitian ini. Terima kasih kepada tim pengembang I-FINDI atas dedikasi dan kerja keras mereka dalam menghasilkan teknologi yang inovatif ini. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan teknis, sarana, dan prasarana yang sangat berarti selama proses penelitian berlangsung. Kolaborasi dan bantuan dari semua pihak telah menjadi kunci keberhasilan penelitian ini. Terima kasih atas kontribusi luar biasa yang telah diberikan.

REFERENSI

- Alimuddin, Rasimeng, S., Karyanto, & Zefrianto, R. (2021). *Identifikasi Persebaran Air Lindi dan Edukasi Pemantauan Kualitas Air Tanah Sebagai Sumber Air Bersih di Kawasan TPA Bakung, Bandar Lampung*. Lampung: Fakultas Teknik UNILA.
- Atsilah, A., Sakti, S., & Umbu, N. (2023). Peran Multi Aktor dalam Mewujudkan Ketahanan Pangan Nasional Melalui Pengelolaan Food Loss and Waste di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 56-74.
- Beby, C. C. (2020). *Dampak Keberadaan Tempat Pembuangan Akhir Sampah Terhadap Masyarakat Sekitar*. Pekanbaru: Universitas Islam Riau.
- Ristiano, A. (2021). *Pemetaan Lokasi Pembuangan Sampah Ilegal Menggunakan Sistem Informasi Geografis di Kota Bogor*. Universitas Islam Indonesia.