

# INTEGRASI TEKNOLOGI *ARTIFICIAL INTELLIGENCE* DAN PEMANFAATAN SUMBER DAYA ALAM:

Menuju Inovasi Berkelanjutan

Buku ini membahas inovasi teknologi dan pemanfaatan sumber daya alam untuk mengatasi tantangan modern, dengan pendekatan interdisipliner yang menggabungkan kecerdasan buatan (AI), teknologi ramah lingkungan, dan kearifan lokal. BAB I mengeksplorasi sistem kontrol kualitas air berbasis AI untuk mendukung akuakultur berkelanjutan. BAB II mengulas pengembangan tempat sampah pintar berbasis AI dalam mengelola sampah secara efisien. BAB III fokus pada teknologi deteksi dan pencegahan kebakaran hutan di lahan gambut menggunakan AI. BAB IV menampilkan inovasi lulur cingkaruk tradisional berbasis buah pedada sebagai produk kosmetik alami ramah lingkungan. Buku ini memberikan wawasan tentang sinergi teknologi dan budaya lokal untuk solusi berkelanjutan bagi masa depan.



INTEGRASI TEKNOLOGI ARTIFICIAL INTELLIGENCE DAN PEMANFAATAN SUMBER DAYA ALAM:  
MENUJU INOVASI BERKELANJUTAN

Hj. Rahmaniari Emilian Noor, S.Pd, dkk.



# INTEGRASI TEKNOLOGI *ARTIFICIAL INTELLIGENCE* DAN PEMANFAATAN SUMBER DAYA ALAM:

Menuju Inovasi Berkelanjutan



Hj. Rahmaniari Emilian Noor, S.Pd, Mohamad Nor Aufa, M.Pd.,  
Naila Syafa Aidina Imtiyaz, Yuliana Ratu Aqilah Lirm Su Been, Zulkhaidir Rahman,  
Nena Aina Mozha, Hanna Nur Salsabilla, Nabila Putri, Siti Nafisah

**INTEGRASI TEKNOLOGI *ARTIFICIAL INTELLIGENCE*  
DAN PEMANFAATAN SUMBER DAYA ALAM:  
MENUJU INOVASI BERKELANJUTAN**

**Hj. Rahmaniar Emilian Noor, S.Pd  
Mohamad Nor Aufa, M.Pd.  
Naila Syafa Aidina Imtiyaz,  
Yuliana Ratu Aqilah Lim Su Been,  
Zulkhaidir Rahman,  
Nena Aina Mozha,  
Hanna Nur Salsabilla,  
Nabila Putri, Siti Nafisah**



**PT. PENA PERSADA KERTA UTAMA**

**INTEGRASI TEKNOLOGI *ARTIFICIAL INTELLIGENCE*  
DAN PEMANFAATAN SUMBER DAYA ALAM:  
MENUJU INOVASI BERKELANJUTAN**

**Penulis:**

Hj. Rahmaniari Emilian Noor, S.Pd, Mohamad Nor Aufa, M.Pd.  
Naila Syafa Aidina Imtiyaz, Yuliana Ratu Aqilah Lim Su Been,  
Zulkhaidir Rahman, Nena Aina Mozha,  
Hanna Nur Salsabilla, Nabila Putri, Siti Nafisah

**ISBN: 978-634-204-423-0**

**Design Cover:**

Yanu Fariska Dewi

**Layout:**

Nofendy Ardyanto

**PT. Pena Persada Kerta Utama**

**Redaksi:**

Jl. Gerilya No. 292 Purwokerto Selatan, Kab. Banyumas  
Jawa Tengah.

Email: [penerbit.penapersada@gmail.com](mailto:penerbit.penapersada@gmail.com)

Website: [penapersada.id](http://penapersada.id). Phone: (0281) 7771388

**Anggota IKAPI: 178/JTE/2019**

All right reserved

Cetakan pertama: Februari 2025

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang. Dilarang  
memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan cara apapun  
tanpa izin penerbit

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga buku ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini disusun sebagai salah satu upaya untuk menghadirkan inovasi dan solusi berbasis teknologi serta kearifan lokal dalam berbagai bidang, seperti akuakultur, pengelolaan sampah, pencegahan kebakaran lahan gambut, dan pengembangan kosmetik tradisional ramah lingkungan.

Buku ini terdiri dari empat bab utama yang membahas berbagai topik menarik dan relevan dengan perkembangan zaman. Pada **Bab I**, pembahasan berfokus pada pengembangan sistem kontrol kualitas air berbasis kecerdasan buatan untuk mendukung akuakultur berkelanjutan. Bab ini mengulas standar kualitas air, pemanfaatan teknologi pemantauan, hingga evaluasi sistem yang dikembangkan.

**Bab II** membahas pengembangan tempat sampah pintar berbasis Artificial Intelligence (AI) sebagai salah satu solusi inovatif dalam pengelolaan sampah. Dengan teknologi ini, diharapkan dapat meningkatkan kesadaran lingkungan serta efektivitas dalam pemilahan dan pengelolaan sampah.

Selanjutnya, pada **Bab III**, dibahas mengenai sistem deteksi dan pencegahan kebakaran hutan berbasis Artificial Intelligence khususnya untuk lahan gambut. Teknologi ini dikembangkan untuk mendeteksi kebakaran secara dini dan mencegah kerusakan lingkungan yang lebih luas.

Terakhir, **Bab IV** mengangkat kearifan lokal dengan menghadirkan **Lulur Cingkaruk Khas Banjar** sebagai inovasi *green cosmetics* berbasis buah pedada (*Sonneratia caseolaris*). Bab ini menjelaskan potensi buah pedada sebagai bahan alami dalam pembuatan lulur tradisional yang ramah lingkungan.

Buku ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif bagi pembaca, baik dari kalangan akademisi, peneliti, praktisi, maupun masyarakat umum yang tertarik pada inovasi teknologi dan pemanfaatan sumber daya alam secara berkelanjutan. Tidak

lupa, kami menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan buku ini, baik dalam bentuk saran, ide, maupun dukungan teknis.

Akhir kata, semoga buku ini bermanfaat dan dapat menjadi sumber inspirasi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di masa mendatang. Kritik dan saran yang membangun sangat kami harapkan demi perbaikan dan penyempurnaan karya ini di masa yang akan datang.

Tim Penulis

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	v
BAB I PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL KUALITAS AIR BERBASIS KECERDASAN BUATAN UNTUK AKUAKULTUR BERKELANJUTAN.....	1
A. Pendahuluan .....	1
B. Budidaya Ikan.....	5
C. Standardisasi Kualitas Kolam Ikan Dan Pengembangan Teknologi Pemantauan Kualitas Air .....	12
D. Rancangan Arduino Integrated Development Environment .....	20
E. Pengembangan Dan Evaluasi Sistem Pemantauan Kualitas Air: Efektivitas, Parameter, Dan Analisis Keunggulan.....	25
F. Penutup .....	33
G. Daftar Pustaka .....	34
BAB II PENGEMBANGAN TEMPAT SAMPAH PINTAR BERBASIS <i>ARTIFICIAL INTELLIGENCE</i> .....	40
A. Pendahuluan .....	40
B. Sampah Dan Jenisnya .....	42
C. Pengembangan Tempat Sampah Pintar Berbasis <i>Artificial intelligence</i> .....	45
D. Cara Kerja Dan Prosedur Penggunaan .....	49
E. Pengembangan Prototype Dan Pengujian Alat Tempat Sampah Pintar Berbasis Ai .....	51
F. Penutup .....	59
G. Daftar Pustaka .....	60
BAB III PENGEMBANGAN SISTEM DETEKSI DAN PENCEGAHAN KEBAKARAN HUTAN BERBASIS <i>ARTIFICIAL INTELLIGENCE</i> UNTUK LAHAN GAMBUT .....	64
A. Pendahuluan .....	64
B. Kebakaran Lahan Gambut .....	67
C. Pengembangan Teknologi Deteksi Kebakaran Hutan .....	69

D. Prosedur Pengembangan Teknologi Pencegahan Kebakaran .....	71
E. Merancang Teknologi Deteksi Kebakaran .....	76
F. Keunggulan dan Keterbatasan Sistem Deteksi dan Pencegahan Kebakaran Hutan Berbasis <i>Artificial Intelligence</i> .....	87
G. Penutup .....	88
H. Daftar Pustaka .....	89
<b>BAB IV LULUR CINGKARUK KHAS BANJAR: INOVASI GREEN COSMETICS BERBASIS BUAH PEDADA (SONNERATIA CASEOLARIS) .....</b>	
A. Pendahuluan .....	93
B. Kosmetik Tradisional .....	96
C. Buah Pedada Sebagai Lulus Cingkaruk .....	98
D. Pra Pembuatan Lulur Cingkaruk Dengan Buah Pedada .....	101
E. Variasi Buah Pedada Pada Pembuatan Lulur Cingkaruk .....	103
F. Penutup .....	113
G. Daftar Pustaka .....	114

# **BAB I**

## **PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL KUALITAS AIR BERBASIS KECERDASAN BUATAN UNTUK AKUAKULTUR BERKELANJUTAN**

**Hj. Rahmaniar Emilian Noor, S.Pd**  
**Mohamad Nor Aufa, M.Pd.**  
**Naila Syafa Aidina Imtiyaz**  
**Yuliana**

### **A. Pendahuluan**

Akuakultur adalah sektor penting dalam perekonomian Indonesia yang melibatkan budidaya organisme akuatik seperti ikan di lingkungan yang terkendali untuk mengoptimalkan pertumbuhan dan kesehatan (Riftiarrasyid & Soewito, 2024) (Saputra, 2024). Praktik ini ditandai dengan ketergantungannya pada manusia untuk mengelola kondisi lingkungan, formulasi pakan, dan pemilihan spesies, yang bertujuan untuk menciptakan lingkungan bebas stres yang meningkatkan kinerja dan kesehatan ikan (Yimer, 2023).

Sesuai laporan Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2022, Indonesia adalah rumah bagi 583 perusahaan budidaya ikan, dengan Jawa Timur diidentifikasi sebagai provinsi yang menampung konsentrasi bisnis tertinggi, dengan total 201 perusahaan atau 34,47% dari total nasional. Jumlah besar perusahaan tersebut menggarisbawahi potensi yang signifikan dalam sektor budidaya ikan, terutama dalam memenuhi kebutuhan pangan dan memperkuat ekonomi nasional (Bunting dkk., 2023).

Budidaya ikan, khususnya dalam sistem akuakultur, menghadapi tantangan signifikan terkait dengan manajemen kualitas air, yang sangat penting untuk menjaga kesehatan dan produktivitas ikan (Hambali dkk., 2024). Parameter utama seperti suhu, pH, oksigen terlarut, salinitas, dan konsentrasi karbon dioksida harus dipantau dengan cermat untuk mencegah stres, pertumbuhan terhambat, atau kematian ikan, yang dapat

mempengaruhi hasil keuangan dan tingkat produktivitas (Sabri dkk., 2023) (Bhat dkk., 2022). Perkembangan teknologi, termasuk kecerdasan buatan (AI), telah membuka peluang baru dalam memantau dan mengontrol parameter-parameter ini secara lebih efektif, memungkinkan pemantauan dan penyesuaian real-time yang lebih efisien (Okuyelu & Adaji, 2024). (Adeleke, 2024).

Indonesia memiliki berbagai keberagaman air tawar yang luar biasa, mencakup lebih dari 1.300 spesies yang diakui, sehingga menjadikannya di antara negara-negara dengan keanekaragaman hayati air tawar paling tinggi secara global (Sudarno, et al., 2023). Namun, tantangan yang terkait dengan kualitas air sering menghadirkan hambatan besar bagi budidaya air tawar. Peristiwa seperti kematian kolam akibat genangan kolam atau variasi termal yang drastis menggarisbawahi kebutuhan mendesak untuk penerapan strategi pengelolaan kualitas air yang efektif (Wang & Fan, 2023) (Jomsri & Prangchumpol, 2024).

Saat ini pemantauan kualitas air di Indonesia masih mengandalkan proses manual yang tidak efisien dan tidak mampu menyediakan data real-time yang penting untuk intervensi yang cepat (David & Iriana, 2024). Dengan perkembangan teknologi, terutama di bidang Kecerdasan Buatan (AI) dan *Internet of Things* (IoT), ada peluang besar untuk mengembangkan sistem kontrol kualitas air yang lebih maju yang mampu secara otomatis memantau dan menyesuaikan parameter kualitas air.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem kontrol kualitas air berbasis AI yang mahir dalam memantau spektrum parameter kualitas air secara *real-time* dan melaksanakan penyesuaian otomatis untuk mendorong kondisi optimal untuk budidaya ikan. Dalam konteks ini, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem kontrol kualitas air berbasis AI yang mampu memantau parameter kualitas air secara real-time dan melakukan penyesuaian otomatis. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas budidaya ikan, serta mendukung keberlanjutan lingkungan

dengan mengurangi penggunaan bahan kimia yang berlebihan dan dampak lingkungan.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam mengatasi tantangan budidaya ikan air tawar di Indonesia, serta meningkatkan daya saing industri perikanan nasional di pasar global.

Terntu jika sudah membaca berbagai paragraf di atas maka ada beberapa tujuan kenapa hadirnya buku dan kajian ini.

1. Mengetahui cara pengembangan alat sistem kontrol pemantauan kualitas air tawar berbasis *Artificial Intelligence* pada budidaya kolam ikan air tawar.
2. Mengetahui tingkat sensitivitas dan akurasi alat sistem kontrol pemantauan kualitas air berbasis *Artificial Intelligence* dalam mendeteksi **Temperatur, Kejernihan, pH (Derajat Keasaman), dan Salinitas** pada budidaya kolam ikan air tawar yang mudah diakses dan dapat digunakan, serta memberikan rekomendasi untuk pengembangan alat semacam itu.

Dari kajian yang ada di buku ini diharapkan bisa memberikan sumbangsing dan manfaat bagi para pembaca. Maka dari itu beriku adalah manfaat yang diharapkan penulis dengan adanya buku ini.

1. Kontribusi untuk Ilmu Pengetahuan dalam Akuakultur

Upaya penelitian ini bertujuan untuk menambah kumpulan pengetahuan yang ada dalam domain akuakultur, terutama mengenai inovasi dan implementasi teknologi kecerdasan buatan (AI) untuk pengelolaan kualitas air. Temuan yang diperoleh dari penyelidikan ini dapat berfungsi sebagai referensi dasar untuk upaya penelitian selanjutnya yang bertujuan untuk meningkatkan teknologi akuakultur.

2. Pemahaman Mendalam tentang Interaksi Faktor Kualitas Air:  
Melalui pelaksanaan penelitian ini, interaksi rumit antara berbagai parameter kualitas air –seperti pH, suhu,

oksigen terlarut, dan salinitas akan diperiksa secara lebih rinci. Pemahaman komprehensif ini siap untuk menjelaskan faktor-faktor penting yang secara signifikan mempengaruhi keberhasilan praktik akuakultur dan sarana di mana kondisi optimal dapat ditetapkan.

3. Dasar untuk Pengembangan Teknologi Lainnya:

Hasil penelitian ini dapat berfungsi sebagai dasar dasar untuk pengembangan teknologi analog di domain lain, seperti pemantauan lingkungan, mitigasi polusi, atau pengelolaan sumber daya alam. Akibatnya, penelitian ini memberikan pengaruh tidak hanya dalam ranah akuakultur tetapi juga di sektor lain yang memerlukan pengelolaan lingkungan yang cermat.

4. Peningkatan Efisiensi dalam Akuakultur

Kerangka regulasi kualitas air yang digerakkan oleh kecerdasan buatan yang ditetapkan dalam penyelidikan ini akan memfasilitasi pengawasan otomatis dan modifikasi kondisi perairan. Inovasi ini akan mengurangi ketergantungan pada penilaian manual padat karya, akibatnya mempercepat respons terhadap parameter air yang berfluktuasi dan meningkatkan kemanjuran operasional praktik budidaya ikan.

5. Pengurangan Risiko Kematian Ikan

Melalui penerapan pemantauan berkelanjutan dan kapasitas kecerdasan buatan untuk mengatur metrik kualitas air secara mandiri, kemungkinan kematian ikan akibat kondisi lingkungan yang kurang optimal dapat berkurang secara signifikan. Kemajuan ini secara langsung akan mempengaruhi peningkatan produktivitas dan profitabilitas bagi para ahli akuakultur.

6. Penghematan Pengeluaran Operasional

Otomatisasi sistem manajemen kualitas air berpotensi mengurangi biaya tenaga kerja yang sebelumnya diperlukan untuk pengawasan manual dan pengaturan kualitas air. Selain itu, dengan mempertahankan kondisi akuatik yang optimal, pengeluaran yang terkait dengan pengobatan

penyakit dan efek buruk yang berasal dari kualitas air yang tidak memadai dapat dikurangi.

#### 7. Peningkatan Kualitas dan Kuantitas Hasil

Dengan memastikan bahwa kualitas air dipertahankan pada parameter optimal, ikan cenderung mengalami pertumbuhan yang kuat, sehingga meningkatkan kualitas dan kuantitas hasil akuakultur. Peningkatan ini akan berkontribusi pada nilai keseluruhan produk ikan dan meningkatkan daya saing di pasar.

### **B. Budidaya Ikan**

#### **1. Budidaya ikan**

Perikanan akuakultur telah berkembang pesat dan menjadi sektor yang bersifat multidimensi, menggabungkan berbagai aspek seperti upaya ekonomi, penerapan teknologi, optimalisasi produksi, hingga pelestarian lingkungan. Sebagai salah satu sektor strategis, akuakultur tidak hanya memenuhi kebutuhan pangan global, tetapi juga menciptakan lapangan kerja dan meningkatkan perekonomian masyarakat, terutama di wilayah pesisir. Peran akuakultur dalam mendukung ketahanan pangan semakin penting, mengingat permintaan terhadap produk perikanan terus meningkat seiring pertumbuhan populasi dunia (Khademi-Vidra dkk., 2024).

Pada awalnya, tujuan utama dari akuakultur adalah memproduksi organisme air seperti ikan, udang, dan kerang untuk konsumsi manusia. Produk-produk ini menjadi sumber protein penting yang mendukung kesehatan dan gizi masyarakat. Namun, seiring perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan, akuakultur tidak lagi terbatas pada tujuan konsumsi. Kini, berbagai inovasi telah memungkinkan sektor ini untuk menjawab kebutuhan yang lebih luas, seperti meningkatkan stok populasi ikan liar melalui restocking, menghasilkan ikan hias untuk pasar domestik dan internasional, serta mendaur ulang bahan organik untuk mendukung pertanian berkelanjutan (Fitria dkk., 2024).

Selain itu, sektor akuakultur juga semakin memperhatikan aspek keberlanjutan. Upaya pengelolaan akuakultur yang ramah lingkungan menjadi sorotan utama dalam menghadapi tantangan seperti perubahan iklim dan penurunan kualitas air. Teknologi seperti sistem resirkulasi akuakultur (RAS) dan penggunaan pakan berbahan baku alternatif telah dikembangkan untuk mengurangi dampak lingkungan. Di sisi lain, pendekatan berbasis ekosistem mulai diterapkan dalam perencanaan dan pengelolaan kawasan budidaya untuk memastikan keseimbangan antara produksi dan konservasi. Dengan demikian, akuakultur tidak hanya berfokus pada produktivitas tetapi juga pada pelestarian ekosistem perairan.

Perkembangan akuakultur yang semakin kompleks menunjukkan bahwa sektor ini memiliki potensi besar sebagai solusi untuk berbagai tantangan global. Kombinasi antara inovasi teknologi, praktik yang berkelanjutan, dan diversifikasi tujuan menjadikan akuakultur sebagai sektor yang dinamis dan adaptif. Dukungan dari berbagai pihak, seperti pemerintah, akademisi, dan pelaku industri, diperlukan untuk mengoptimalkan manfaat akuakultur bagi masyarakat dan lingkungan. Dengan pendekatan yang tepat, akuakultur dapat terus berkontribusi pada pembangunan ekonomi sekaligus menjaga keseimbangan ekologi.

Perikanan akuakultur dapat diartikan sebagai proses produksi terkontrol organisme air, yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan pasar dengan pendekatan berbasis keuntungan. Dalam praktiknya, akuakultur menerapkan prinsip-prinsip industri modern, seperti efisiensi, manajemen produksi, dan optimalisasi sumber daya, guna memastikan hasil yang maksimal. Pendekatan ini memungkinkan sektor akuakultur untuk terus berkembang dan menyesuaikan diri dengan dinamika pasar yang semakin kompleks, termasuk permintaan akan produk yang berkualitas tinggi dan berkelanjutan (Priahenanda, 2024).

Selama bertahun-tahun, akuakultur telah mengalami perubahan signifikan dalam fungsi dan tujuan utamanya. Awalnya, akuakultur berfungsi sebagai inisiatif konservasi sederhana yang bertujuan untuk meningkatkan stok ikan liar dan menjaga keberlanjutan populasi organisme air. Namun, dengan perkembangan teknologi dan globalisasi, sektor ini telah bertransformasi menjadi industri yang maju dan terintegrasi secara teknologi. Penggunaan teknologi canggih, seperti sensor kualitas air, otomatisasi pakan, dan sistem pemantauan berbasis IoT, menjadi bagian penting dari akuakultur modern, memungkinkan peningkatan efisiensi dan pengelolaan yang lebih baik (Erwin dkk., 2023).

Selain teknologi, akuakultur juga menjadi sektor yang responsif terhadap perubahan preferensi pasar global. Misalnya, meningkatnya permintaan konsumen terhadap produk perikanan organik dan ramah lingkungan mendorong pelaku industri untuk mengadopsi metode produksi berkelanjutan. Inisiatif seperti penggunaan pakan berbahan nabati, pengurangan antibiotik, serta penerapan sistem budidaya multispesies semakin umum dilakukan. Hal ini menunjukkan bagaimana akuakultur mampu beradaptasi dengan tantangan sekaligus memanfaatkan peluang baru yang muncul dari perubahan tren konsumen dan kebijakan internasional terkait keberlanjutan.

Transformasi akuakultur dari pendekatan tradisional menuju industri modern menggambarkan kapasitas sektor ini untuk berinovasi dan berkembang. Namun, keberhasilan tersebut juga memunculkan tantangan baru, seperti tekanan pada lingkungan, kebutuhan akan regulasi yang lebih ketat, dan persaingan pasar yang semakin tinggi. Untuk memastikan keberlanjutan jangka panjang, diperlukan kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan lembaga penelitian dalam mengembangkan kebijakan, teknologi, dan praktik akuakultur yang inovatif. Dengan pendekatan ini, akuakultur dapat terus menjadi sektor yang relevan dan memberikan manfaat bagi masyarakat global.

## 2. Kolam Penampung Ikan

Kolam adalah lahan buatan yang dirancang untuk menampung air dalam jumlah tertentu dengan tujuan mendukung berbagai aktivitas manusia, salah satunya adalah budidaya ikan. Dalam dunia perikanan, kolam memiliki peran penting sebagai habitat yang memungkinkan pengelolaan dan pengendalian lingkungan bagi organisme air yang dipelihara. Kolam ini biasanya dibangun dengan memperhatikan faktor-faktor seperti kapasitas penampungan air, stabilitas struktur, serta sistem sirkulasi air. Dengan desain yang tepat, kolam dapat mendukung kehidupan ikan atau hewan air lainnya secara optimal, sekaligus memudahkan pelaku budidaya dalam mengelola aktivitas pemeliharaan dan panen.

Kolam air tawar merupakan salah satu jenis kolam buatan yang paling umum digunakan dalam budidaya perikanan. Jenis kolam ini biasanya diisi dengan air sungai, air sumur, atau sumber air tawar lainnya yang memiliki kualitas yang baik. Kolam air tawar menyediakan lingkungan yang cocok bagi berbagai jenis ikan, seperti nila, lele, gurame, dan patin, yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Dalam konteks akuakultur, kolam air tawar tidak hanya menjadi media kehidupan bagi biota air, tetapi juga menjadi ruang untuk menerapkan teknik-teknik budidaya yang bertujuan meningkatkan hasil panen. Pengelolaan kolam yang baik berkontribusi pada produktivitas budidaya, yang pada akhirnya mendukung ketahanan pangan dan perekonomian masyarakat (Erdian Pratiwi dkk., 2024).

Kegiatan budidaya ikan di kolam air tawar membutuhkan perhatian yang serius terhadap berbagai parameter lingkungan. Kualitas air menjadi salah satu faktor utama yang harus dijaga untuk memastikan kesehatan dan pertumbuhan ikan yang optimal. Parameter-parameter seperti tingkat kekeruhan, suhu, pH, dan kandungan oksigen terlarut harus dipantau secara rutin. Selain itu, keberadaan zat-zat beracun, seperti amonia dan nitrit, perlu dikendalikan

karena dapat menyebabkan stres atau bahkan kematian pada ikan. Dengan mengelola parameter-parameter ini secara baik, pelaku budidaya dapat menciptakan lingkungan yang kondusif untuk pertumbuhan ikan, sehingga dapat meningkatkan efisiensi produksi.

Pentingnya pengelolaan kualitas air dalam kolam air tawar tidak hanya berpengaruh pada keberhasilan budidaya, tetapi juga pada kualitas akhir produk. Ikan yang dipelihara dalam lingkungan dengan kualitas air yang buruk cenderung memiliki tingkat pertumbuhan yang lebih rendah dan rentan terhadap penyakit. Sebaliknya, lingkungan kolam yang bersih dan seimbang akan menghasilkan ikan yang sehat dan berkualitas tinggi, yang memenuhi standar pasar. Oleh karena itu, investasi dalam teknologi pemantauan kualitas air, seperti sensor otomatis, serta penerapan sistem biofiltrasi, menjadi langkah yang diperlukan untuk meningkatkan keberlanjutan dan efisiensi budidaya ikan di kolam air tawar. Dengan pengelolaan yang terintegrasi, kolam air tawar dapat terus menjadi solusi penting dalam mendukung sektor perikanan yang produktif dan berkelanjutan.

Meskipun sektor akuakultur terus berkembang, banyak petani ikan yang masih menghadapi tantangan besar dalam menjaga kualitas air kolam. Salah satu masalah yang sering muncul adalah kematian ikan secara tiba-tiba, yang dapat merugikan secara ekonomi dan mengurangi efisiensi produksi. Faktor-faktor seperti perubahan drastis pada tingkat kekeruhan air, peningkatan suhu, atau keberadaan zat beracun seperti amonia sering kali menjadi penyebab utama. Sayangnya, banyak petani ikan yang belum memahami secara menyeluruh mekanisme di balik perubahan-perubahan ini, sehingga langkah pencegahan atau penanganan sering terlambat dilakukan (Salam dkk., 2024).

Salah satu tantangan utama dalam mengelola kualitas air kolam adalah fluktuasi parameter lingkungan yang sulit diprediksi. Misalnya, perubahan suhu yang signifikan dapat

memengaruhi kadar oksigen terlarut, yang sangat penting bagi kelangsungan hidup ikan. Selain itu, faktor eksternal seperti limpasan air hujan yang membawa sedimen atau bahan kimia dari lingkungan sekitar dapat meningkatkan tingkat kekeruhan air, yang pada gilirannya memengaruhi proses respirasi ikan. Jika tidak ditangani dengan cepat, kondisi ini dapat memicu stres pada ikan, meningkatkan risiko penyakit, bahkan menyebabkan kematian massal. Oleh karena itu, diperlukan pemahaman yang mendalam mengenai interaksi antar-parameter kualitas air untuk menjaga stabilitas lingkungan kolam.

Untuk mengatasi masalah ini, salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah pengembangan dan penggunaan sistem pemantauan kualitas air yang terintegrasi. Sistem ini dirancang untuk memantau berbagai parameter penting seperti suhu, pH, tingkat kekeruhan, kadar oksigen terlarut, dan konsentrasi zat beracun secara bersamaan dalam waktu nyata (*real-time*). Dengan teknologi ini, petani ikan dapat segera mendeteksi perubahan lingkungan yang berpotensi membahayakan ikan mereka. Sistem pemantauan modern juga sering kali dilengkapi dengan fitur otomatisasi yang dapat memberikan peringatan dini melalui perangkat elektronik seperti ponsel, sehingga memungkinkan tindakan korektif yang cepat dan efisien (Londhe dkk., 2024).

Penerapan sistem pemantauan kualitas air berbasis teknologi tidak hanya membantu menjaga stabilitas kondisi kolam, tetapi juga mendukung keberlanjutan dan efisiensi produksi ikan. Dengan memanfaatkan data yang dikumpulkan oleh sistem ini, petani ikan dapat mengambil keputusan yang lebih baik dalam mengelola kolam, seperti menentukan waktu pemberian pakan, mengganti air, atau mengaplikasikan perawatan tertentu. Selain itu, penggunaan teknologi ini juga berkontribusi pada peningkatan hasil panen yang lebih konsisten dan berkualitas tinggi. Oleh karena itu, investasi dalam sistem pemantauan kualitas air merupakan langkah strategis untuk mendukung modernisasi

akuakultur dan meningkatkan daya saing produk perikanan di pasar global.

## C. Standardisasi Kualitas Kolam Ikan Dan Pengembangan Teknologi Pemantauan Kualitas Air

### 1. Standar Kualitas Air Kolam

Kualitas air merupakan salah satu faktor fundamental yang menentukan keberhasilan operasi akuakultur. Air tidak hanya menjadi medium tempat hidup organisme akuatik, tetapi juga memengaruhi kesehatan, pertumbuhan, dan kelangsungan hidup ikan yang dibudidayakan. Parameter-parameter kualitas air, seperti suhu, oksigen terlarut, pH, serta kandungan zat-zat kimia, berperan langsung dalam menciptakan lingkungan yang mendukung produktivitas. Jika kualitas air tidak dikelola dengan baik, risiko stres, penyakit, dan kematian ikan akan meningkat, yang pada akhirnya dapat merugikan pelaku akuakultur secara ekonomi dan menurunkan hasil produksi (Nchegang dkk., 2024).

Pemahaman mengenai standar kualitas air yang optimal menjadi hal yang sangat penting bagi praktisi akuakultur. Standar ini meliputi berbagai parameter fisik, kimia, dan biologis yang harus dijaga pada level tertentu untuk menciptakan lingkungan yang kondusif bagi kehidupan ikan. Sebagai contoh, tingkat oksigen terlarut yang ideal untuk sebagian besar ikan air tawar adalah antara 5 hingga 8 mg/L, sementara pH air sebaiknya berada di kisaran 6,5 hingga 8,5. Ketidaksesuaian parameter ini dapat menyebabkan ikan mengalami gangguan fisiologis, yang berdampak pada pertumbuhan dan daya tahan terhadap penyakit (Riftiarrasyid & Soewito, 2024).

Pemantauan kualitas air secara rutin merupakan langkah strategis untuk memastikan standar tersebut terpenuhi. Teknologi modern memungkinkan petani ikan untuk menggunakan alat pemantauan otomatis yang dapat mengukur parameter kualitas air dalam waktu nyata (real-time). Alat-alat ini sering kali dilengkapi dengan fitur peringatan dini, yang memberikan notifikasi kepada petani jika ada parameter yang menyimpang dari standar. Dengan

teknologi ini, pelaku akuakultur dapat mengambil tindakan korektif lebih cepat, seperti menambahkan aerasi untuk meningkatkan oksigen terlarut atau mengganti air untuk menurunkan kadar zat beracun, sehingga mencegah kerugian yang lebih besar.

Selain itu, pengelolaan kualitas air yang baik juga berkontribusi pada keberlanjutan usaha akuakultur. Kualitas air yang stabil tidak hanya menjamin kesehatan ikan, tetapi juga membantu meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, seperti pakan dan energi. Lingkungan yang sehat juga mendukung pertumbuhan ikan yang lebih cepat, menghasilkan produk berkualitas tinggi yang memenuhi permintaan pasar. Oleh karena itu, pemahaman dan penerapan standar kualitas air yang optimal menjadi elemen kunci dalam membangun sektor akuakultur yang berkelanjutan, efisien, dan kompetitif di era modern.

Kualitas air memainkan peran krusial dalam akuakultur, terutama karena hubungannya yang erat dengan kesehatan, pertumbuhan, dan produktivitas ikan. Sebagai medium utama tempat ikan hidup, air tidak hanya memberikan lingkungan fisik, tetapi juga menjadi sumber nutrisi dan oksigen yang penting bagi kehidupan mereka. Parameter-parameter kualitas air seperti suhu, pH, oksigen terlarut, dan salinitas harus dijaga dalam kisaran tertentu untuk memastikan ikan dapat tumbuh dan berkembang secara optimal. Kondisi yang tidak ideal dapat menyebabkan stres fisiologis pada ikan, yang berdampak langsung pada efisiensi pakan dan kemampuan tubuh ikan untuk melawan penyakit (Zhang dkk., 2023).

Suhu, misalnya, adalah salah satu faktor yang sangat memengaruhi metabolisme ikan. Ikan air tawar tertentu seperti nila tumbuh paling baik pada suhu antara 26 hingga 30 derajat Celsius. Suhu yang terlalu rendah dapat memperlambat metabolisme mereka, sedangkan suhu yang terlalu tinggi dapat mengurangi kadar oksigen terlarut di dalam air. Begitu pula dengan pH, yang idealnya berada di

kisaran 6,5 hingga 8,5 untuk sebagian besar spesies ikan budidaya. Ketidakseimbangan pH dapat mengganggu fungsi biologis ikan, termasuk kemampuan mereka untuk mengatur ion dalam tubuh, yang berujung pada meningkatnya kerentanan terhadap stres dan infeksi.

Oksigen terlarut menjadi salah satu parameter yang paling vital dalam manajemen kualitas air. Tingkat oksigen terlarut yang rendah, yang sering kali disebabkan oleh peningkatan suhu atau aktivitas biologis yang tinggi di kolam, dapat memicu hipoksia pada ikan. Kondisi ini tidak hanya menurunkan efisiensi pakan, tetapi juga memperlambat pertumbuhan, menyebabkan stres, dan bahkan kematian pada kasus yang parah. Untuk menjaga tingkat oksigen terlarut, banyak petani ikan menggunakan alat aerasi seperti kincir air atau blower untuk meningkatkan suplai oksigen ke kolam. Selain itu, salinitas juga menjadi faktor penting bagi spesies tertentu, terutama ikan yang hidup di lingkungan air payau atau laut, seperti bandeng atau udang. Perubahan salinitas yang mendadak dapat memengaruhi keseimbangan osmotik ikan, sehingga perlu pengelolaan yang cermat.

Manajemen kualitas air yang efektif memerlukan kombinasi teknologi modern dan praktik tradisional. Pemantauan kualitas air secara real-time dengan alat digital semakin banyak digunakan, memungkinkan petani ikan untuk mendeteksi perubahan parameter sebelum menjadi masalah besar. Di sisi lain, pemahaman dasar tentang dinamika kualitas air tetap penting, termasuk bagaimana faktor-faktor seperti siklus siang dan malam, hujan, dan pemberian pakan memengaruhi kondisi air. Dengan pendekatan yang holistik dan proaktif terhadap manajemen kualitas air, pelaku akuakultur dapat meminimalkan risiko kematian ikan, meningkatkan efisiensi produksi, dan pada akhirnya mendukung keberlanjutan usaha mereka dalam menghadapi tantangan pasar global.

Berikut beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam budidaya ikan air tawar:

**a. Parameter Fisika**

a) Suhu

Suhu air merupakan salah satu parameter fisik paling penting dalam akuakultur. Kisaran termal optimal untuk sebagian besar spesies ikan air tawar ditetapkan antara 21°C dan 28°C (Yang dkk., 2023). Kondisi termal yang berada di bawah kisaran ini dapat menyebabkan stres dan menghambat proses metabolisme pada ikan, sedangkan suhu yang terlalu tinggi dapat mengurangi kadar oksigen terlarut dalam media air, sehingga menimbulkan risiko kematian. Oleh karena itu, pengaturan suhu yang efektif sangat penting dalam pengelolaan kolam ikan.

b) Kekeruhan

Kejernihan air berfungsi sebagai indikator penting lainnya, secara intrinsik terkait dengan kekeruhan yang dihasilkan dari partikel tersuspensi, termasuk plankton, lumpur, dan puing-puing organik. Seperti dicatat oleh Febriansyah, (2023) kejelasan optimal untuk akuakultur diukur antara 30 hingga 60 cm, sebagaimana dinilai melalui cakram Secchi. Tingkat kekeruhan yang meningkat dapat menghalangi penetrasi cahaya, menghambat aktivitas fotosintesis flora air, dan menyebabkan stres pada populasi iktiologis.

**b. Parameter Kimia**

a) pH (Derajat Keasaman)

Tingkat pH optimal untuk budidaya ikan air tawar biasanya berkisar antara 6,5 hingga 9. Ekstrem pH, baik yang terlalu asam maupun terlalu basa, dapat berdampak buruk pada fungsi metabolisme dan fisiologis ikan, serta meningkatkan toksisitas senyawa seperti amonia (Fitriana & Mufida, 2024). Oleh karena itu, menjaga stabilitas pH sangat penting untuk

menciptakan lingkungan yang kondusif bagi pertumbuhan dan kesehatan ikan.

b) Oksigen Terlarut (DO)

Oksigen terlarut adalah komponen penting untuk proses pernapasan ikan. Konsentrasi ideal oksigen terlarut dipertahankan antara 5 hingga 7 ppm (Saparinto, 2024). Kadar oksigen yang turun di bawah 3 ppm dapat menyebabkan stres yang cukup besar dan dapat menyebabkan kematian pada populasi ikan. Pengelolaan kadar oksigen terlarut dicapai melalui teknik aerasi dan regulasi populasi planktonik, yang keduanya mempengaruhi keseimbangan oksigen dalam air.

c) Ammonia dan Nitrit

Amonia ( $\text{NH}_3$ ) dan nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) adalah produk sampingan metabolisme yang dihasilkan dari respirasi ikan dan dekomposisi bahan organik, yang keduanya sangat merugikan kesehatan ikan. Konsentrasi amonia tidak boleh melebihi 0,05 ppm, dan kadar nitrit harus dipertahankan di bawah 0,1 ppm untuk mencegah iktiotoksisitas. Pengaturan kadar amonia dan nitrit dilakukan melalui pengelolaan sistem filtrasi biologis dan pembaruan air secara berkala.

**c. Parameter Biologis**

Plankton, khususnya fitoplankton, memegang peran vital dalam ekosistem kolam, berfungsi sebagai produsen primer dan sumber makanan utama bagi banyak spesies ikan serta organisme akuatik lainnya. Fitoplankton memanfaatkan sinar matahari dan nutrisi yang tersedia di kolam untuk melakukan fotosintesis, sehingga tidak hanya menyediakan nutrisi bagi konsumen tingkat pertama, tetapi juga berkontribusi pada produksi oksigen terlarut di air. Keberadaan fitoplankton yang seimbang menjadi salah satu indikator kesehatan ekosistem kolam, karena mendukung keberlangsungan rantai makanan secara keseluruhan.

Namun, pertumbuhan fitoplankton yang berlebihan atau biasa disebut blooming dapat berdampak negatif pada kualitas air kolam. Proliferasi fitoplankton yang tidak terkendali sering kali disebabkan oleh masuknya nutrisi dalam jumlah besar, seperti nitrogen dan fosfor, ke dalam air. Kondisi ini dapat memicu eutrofikasi, yaitu fenomena di mana kadar oksigen terlarut di dalam air menurun drastis akibat penguraian massa fitoplankton mati oleh bakteri. Akibatnya, organisme akuatik, termasuk ikan, menghadapi risiko kekurangan oksigen, yang dapat menyebabkan stres, gangguan pertumbuhan, bahkan kematian.

Oleh karena itu, pemantauan komposisi dan kelimpahan plankton secara berkala menjadi langkah penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem kolam. Teknologi modern, seperti analisis mikroskopis dan sensor digital, dapat membantu mengukur tingkat keberadaan plankton dengan akurat. Selain itu, pengelolaan nutrisi melalui pemberian pakan yang sesuai, pengaturan aerasi, dan sistem filtrasi dapat mengurangi risiko pertumbuhan plankton yang berlebihan. Dengan pengelolaan yang tepat, ekosistem kolam dapat tetap produktif sekaligus mendukung keberlanjutan akuakultur yang sehat.

## **2. Teknologi Pemantauan Kualitas Air**

Teknologi pemantauan real-time untuk kualitas air telah menjadi inovasi penting dalam akuakultur modern, mengingat kebutuhan mendesak untuk menjaga kondisi lingkungan yang optimal demi mendukung kesehatan dan pertumbuhan populasi ikan. Dalam sistem akuakultur yang kompleks, kualitas air yang stabil menjadi kunci keberhasilan produksi, dan teknologi canggih memberikan solusi praktis untuk mengatasi tantangan ini. Dengan perkembangan perangkat berbasis sensor dan analitik, petani ikan kini dapat memanfaatkan alat-alat yang mampu memantau berbagai

parameter kualitas air secara terus-menerus. Inovasi ini tidak hanya membantu meningkatkan efisiensi manajemen kolam, tetapi juga mencegah risiko kerugian akibat perubahan lingkungan yang tidak terdeteksi sebelumnya.

Sensor multi-parametrik adalah salah satu teknologi terdepan dalam pemantauan kualitas air. Perangkat ini mampu mengukur beberapa parameter penting secara bersamaan, seperti suhu, pH, oksigen terlarut, salinitas, kejernihan air, dan konsentrasi karbon dioksida. Sensor-sensor tersebut dirancang untuk memberikan data secara real-time, memungkinkan para praktisi akuakultur untuk memahami dinamika lingkungan kolam mereka dengan lebih baik. Selain itu, sistem ini dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan kecil yang dapat menjadi indikasi awal adanya masalah, seperti peningkatan kadar amonia atau penurunan oksigen terlarut, yang jika tidak ditangani dapat berdampak serius pada kesehatan ikan.

Selain kemampuan sensor, integrasi teknologi berbasis kecerdasan buatan (AI) telah membawa pemantauan kualitas air ke tingkat yang lebih canggih. Sistem berbasis AI memungkinkan analisis data secara cepat dan prediktif, membantu petani ikan mengambil keputusan yang tepat waktu. Misalnya, AI dapat mengidentifikasi tren kualitas air dari data historis dan memberikan peringatan dini jika parameter mendekati batas yang tidak aman. Dengan fitur ini, tindakan pencegahan dapat dilakukan lebih awal, seperti meningkatkan aerasi, menyesuaikan pemberian pakan, atau mengganti air sebagian. Kombinasi antara sensor multi-parametrik dan kecerdasan buatan membuat manajemen kolam menjadi lebih proaktif dan efisien.

Manfaat dari teknologi pemantauan real-time ini tidak hanya terbatas pada peningkatan efisiensi produksi, tetapi juga mendukung keberlanjutan dalam akuakultur. Dengan menggunakan data yang akurat dan terkini, petani ikan dapat mengelola sumber daya secara lebih bertanggung jawab, mengurangi limbah, dan meminimalkan dampak

lingkungan. Selain itu, teknologi ini membantu meningkatkan transparansi dan kepercayaan konsumen, karena kualitas ikan yang dihasilkan dapat dijamin berasal dari lingkungan yang dikelola dengan baik. Di tengah tantangan global untuk memenuhi permintaan pasar sekaligus menjaga keberlanjutan, teknologi pemantauan real-time menjadi solusi penting bagi masa depan akuakultur.

### **3. Sistem Kontrol Kualitas Air Berbasis Artificial Intelligence**

Perkembangan pesat ilmu pengetahuan dan teknologi di era globalisasi telah memicu munculnya berbagai inovasi yang bertujuan meningkatkan efisiensi dan kenyamanan dalam berbagai aspek kehidupan manusia. Teknologi memainkan peran penting dalam perkembangan ini, terutama melalui penyebaran solusi yang merampingkan kegiatan sehari-hari, termasuk dalam sektor pertanian dan perikanan (Bhat dkk., 2022). Salah satu inovasi signifikan adalah pemanfaatan kecerdasan buatan (AI) dalam sistem kontrol otomatis di akuakultur. AI memfasilitasi analisis data dari berbagai sensor untuk memantau kualitas air secara efektif. Teknologi ini mampu memberikan prediksi yang akurat mengenai perubahan kondisi lingkungan berdasarkan data yang dikumpulkan, seperti suhu, pH, dan parameter penting lainnya (Moni dkk., 2024).

AI memiliki kemampuan untuk menganalisis data secara real-time, memungkinkan pembudidaya mengambil keputusan cepat dalam penyesuaian kondisi lingkungan kolam. Hal ini penting untuk menjaga kesehatan dan pertumbuhan ikan tetap optimal. Selain itu, AI juga mampu mengatur sistem secara mandiri, mengurangi campur tangan manusia dalam proses pemantauan dan penyesuaian kualitas air. Teknologi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga mengurangi risiko yang terkait dengan fluktuasi kualitas air, seperti kematian ikan akibat perubahan mendadak dalam parameter air. Penggabungan AI ke dalam sistem kontrol akuakultur terbukti

meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan, menjadikannya alat yang penting dalam mengatasi tantangan lingkungan yang dinamis (Mohale dkk., 2024).

Penelitian ini melibatkan tinjauan komprehensif terhadap literatur dari berbagai jurnal dan teks ilmiah untuk memperdalam pemahaman mengenai teknologi yang digunakan dalam sistem pemantauan kualitas air berbasis AI. Pemilihan lokasi penelitian dilakukan dengan cermat, salah satunya adalah kolam ikan MAN 2 di Kota Banjarmasin, guna memberikan fondasi yang kuat untuk penerapan alat pemantauan ini. Fase penting dalam penelitian ini melibatkan pengembangan mikrokontroler dan sensor, di mana penyelidikan ilmiah berfokus pada komponen yang paling sesuai untuk kinerja optimal perangkat. Desain perangkat keras dilakukan dengan presisi untuk memastikan keselarasan dengan persyaratan penelitian, membentuk dasar untuk pembuatan prototipe alat pemantauan yang siap diterapkan dalam budidaya ikan air tawar.

Alat yang dikembangkan dirancang untuk memantau kualitas air tawar di kolam ikan secara mandiri menggunakan sistem berbasis AI. Sistem ini memungkinkan deteksi dini masalah dalam pengelolaan kolam ikan, yang bermanfaat dalam mempertahankan kualitas air baik di dalam kolam maupun di lingkungan sekitarnya. Dengan kemampuan memberikan data yang akurat secara real-time, sistem ini diharapkan dapat memberikan dampak positif pada pemantauan kualitas air, sekaligus meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan dalam budidaya ikan air tawar.

## **D. Rancangan Arduino Integrated Development Environment**

### **1. Proses Pembuatan**

Pembuatan instrumen meliputi langkah-langkah prosedural berikut:

- a. Merakit alat dan bahan yang diperlukan.
- b. Melaksanakan pengaturan kabel sesuai dengan representasi skematik.
- c. Memanfaatkan Arduino Integrated Development Environment (IDE) untuk menulis dan mengunggah program ke perangkat.
- d. Melakukan tes fungsionalitas untuk memastikan kepatuhan dengan spesifikasi yang ditentukan.

### **Cara kerja**

Mekanisme operasional instrumen ini ditandai dengan:

- Pembacaan analog dari nilai sensor yang dilakukan oleh mikrokontroler.
- Pengambilan keputusan didasarkan pada nilai sensor, di mana nilai yang jatuh di bawah ambang rata-rata menghasilkan penghentian sistem, sementara nilai yang melebihi ambang rata-rata memungkinkan operasi lanjutan.

### **Prosedur Pembuatan**

Kerangka metodologis yang dipatuhi dalam penelitian ini meliputi:

- a. Pemilihan lokasi penelitian di dalam kolam ikan MAN 2 Kota Banjarmasin.
- b. Pengumpulan data sistematis dari berbagai sensor pada interval yang telah ditentukan.
- c. Pemrosesan data melalui sistem berbasis AI untuk mengawasi dan mengatur parameter kualitas air.

## **2. Pengolahan dan Pengembangan Arduino Integrated Development Environment**

### **a. Tahapan Awal**

Metodologi yang digunakan meliputi:

- Ulasan literatur yang luas dari jurnal ilmiah dan teks terkait.

- Studi investigasi pada mikrokontroler dan sensor untuk memastikan kesesuaian komponen yang dipilih.
- Desain prototipe perangkat keras. Pengembangan program yang memanfaatkan bahasa pemrograman C untuk memfasilitasi pemrosesan data sensor melalui mikrokontroler.

b. Teknik Pengembangan

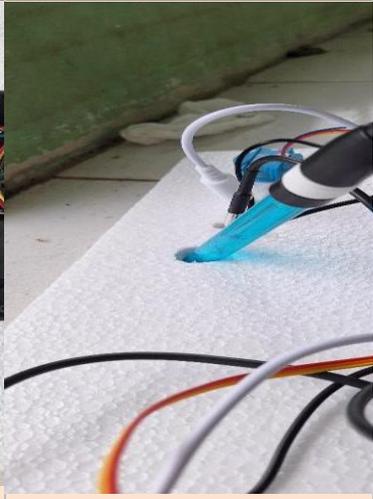
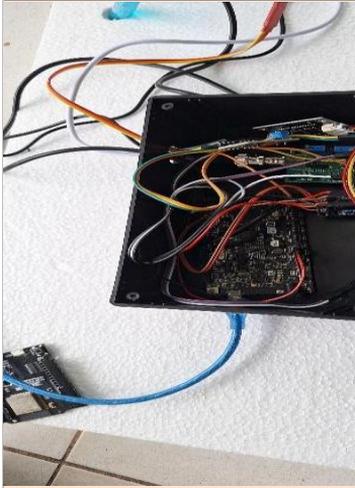
Teknik pengembangan yang diterapkan dalam penelitian ini melibatkan tindakan berurutan berikut:

- a) Menilai kemampuan operasional sistem melalui model miniatur. Melakukan uji coba langsung di dalam kolam ikan untuk memvalidasi kinerja sistem dalam kondisi otentik. Menganalisis data percobaan untuk mengevaluasi respons instrumen terhadap berbagai kondisi akuatik. Mengevaluasi keandalan sensor dalam mengukur parameter kualitas air kritis yang penting untuk akuakultur.
- b) Fase ini dirancang untuk memastikan fungsi optimal alat pemantauan kualitas air berbasis Kecerdasan Buatan dalam konteks budidaya ikan yang sebenarnya. Hasil dari proses analitis dan evaluatif ini akan berfungsi untuk meningkatkan dan mengoptimalkan sistem, sehingga memaksimalkan utilitasnya bagi praktisi akuakultur.

Keseluruhan tahapan dalam pengembangan alat pemantauan kualitas air berbasis Artificial Intelligence (AI) bertujuan untuk memastikan alat tersebut dapat berfungsi secara optimal dalam lingkungan budidaya ikan yang sebenarnya. Tahapan ini mencakup mulai dari desain, pengujian awal, hingga implementasi di lapangan, dengan fokus utama pada kemampuan sistem untuk memantau berbagai parameter kualitas air secara real-time dan memberikan analisis data yang akurat. Penggunaan AI dalam sistem ini memungkinkan pemrosesan data secara cepat dan prediktif, sehingga mampu mendeteksi potensi masalah

sebelum menjadi ancaman serius bagi kesehatan ikan. Dengan demikian, alat ini diharapkan tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga memberikan kontribusi signifikan terhadap produktivitas budidaya ikan.

Analisis dan evaluasi hasil dari implementasi alat ini menjadi kunci utama dalam proses pengembangan lebih lanjut. Hasil analisis membantu penulis dan tim peneliti untuk mengidentifikasi kelemahan sistem dan merancang solusi yang tepat guna memperbaiki dan mengoptimalkan kinerjanya. Selain itu, data yang dihasilkan dari evaluasi juga dapat menjadi dasar untuk menyesuaikan sistem agar sesuai dengan kebutuhan spesifik para pembudidaya ikan di berbagai lingkungan. Dengan alat yang terus disempurnakan, manfaat maksimal dapat dirasakan tidak hanya oleh para pembudidaya ikan dalam meningkatkan hasil panen mereka, tetapi juga oleh ekosistem sekitar melalui pengelolaan kualitas air yang lebih baik dan berkelanjutan.





*Gambar 4. 1*  
*Proses Pembuatan Mesin Arduino Integrated Development*  
*Environment*

## **E. Pengembangan Dan Evaluasi Sistem Pemantauan Kualitas Air: Efektivitas, Parameter, Dan Analisis Keunggulan**

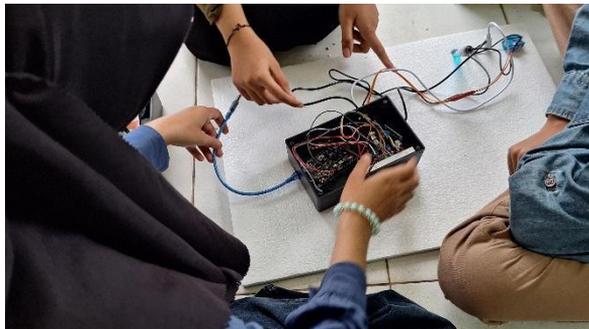
### **1. Pengembangan dan Evaluasi Prototipe Sistem**

Penelitian ilmiah ini berfokus pada perancangan dan evaluasi sistem berbasis Kecerdasan Buatan (AI) untuk memantau kualitas air dalam budidaya ikan air tawar. Sistem ini dirancang secara cermat untuk memantau secara real-time parameter-parameter penting, seperti suhu, pH, salinitas, dan kejernihan air. Melalui proses iteratif yang mencakup pembuatan prototipe, eksperimen laboratorium, serta uji coba lapangan, penelitian ini bertujuan untuk menilai efektivitas sistem dalam meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan praktik akuakultur.

### **1. Pengembangan Prototipe Sistem**

Fase ini dimaksudkan untuk memastikan bahwa semua elemen sistem berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Pemeriksaan laboratorium mencakup simulasi berbagai skenario kolam akuakultur untuk

mengevaluasi respons sensor terhadap perubahan indikator kualitas air. Metode ini juga digunakan untuk mendeteksi kemungkinan kesalahan atau malfungsi dalam sistem sebelum penerapannya dalam pengaturan praktis.



### **Evaluasi Lapangan**

Evaluasi lapangan dilakukan di fasilitas budidaya MAN 2 Banjarmasin selama enam bulan (April hingga September 2024). Dalam konteks evaluasi ini, sistem diterapkan untuk memfasilitasi pemantauan kualitas air secara berkelanjutan dalam pengaturan lingkungan yang sebenarnya. Data yang dikumpulkan selama evaluasi digunakan untuk menilai keandalan dan ketepatan sistem dalam mengidentifikasi kondisi optimal dan non-optimal untuk praktik akuakultur.

<b>No</b>	<b>Kondisi Pengujian</b>	<b>Suhu (°C)</b>	<b>pH</b>	<b>Salinitas (ppm)</b>	<b>Kejernihan (NTU)</b>	<b>Status</b>
1	Kondisi 1	23.5	7.2	300	55	Optimal
2	Kondisi 2	25.0	6.8	400	52	Optimal
3	Kondisi 3	27.5	7.5	300	60	Optimal
4	Kondisi 4	29.0	8.0	600	45	Tidak Optimal
5	Kondisi 5	20.0	7.0	200	50	Optimal
6	Kondisi 6	28.0	6.5	500	40	Tidak Optimal
7	Kondisi 7	24.5	7.3	300	58	Optimal
8	Kondisi 8	26.0	7.8	400	54	Optimal
9	Kondisi 9	30.0	8.5	700	35	Tidak Optimal
10	Kondisi 10	21.5	6.7	300	53	Optimal

*Tabel 5. 1*

*Hasil Pengukuran Parameter Kualitas Air dalam 10 Kondisi Pengujian*



## 2. Efektivitas Dan Parameter Kualitas Air

- Efektivitas Sistem Pemantauan Berbasis AI

Sistem pemantauan berbasis Kecerdasan Buatan (AI) yang diterapkan dalam penelitian ini menunjukkan efektivitas tinggi dalam memantau kualitas air pada budidaya ikan air tawar. Pemantauan *real-time* yang dilakukan memungkinkan deteksi dini perubahan pada parameter utama, seperti suhu, pH, salinitas, dan kejernihan air. Sistem ini mampu memberikan umpan balik cepat yang sangat berguna bagi pengelola

akuakultur dalam membuat keputusan yang tepat untuk menjaga stabilitas lingkungan perairan.

Pemanfaatan AI dalam sistem ini terbukti mempercepat proses analisis data serta mengurangi ketergantungan pada pemantauan manual, yang sering kali memakan waktu dan rentan terhadap kesalahan manusia. Sebagai contoh, AI dapat memberikan notifikasi segera jika parameter air mendekati batas tidak optimal, sehingga tindakan korektif dapat diambil sebelum kondisi menjadi lebih buruk. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa integrasi AI dalam sistem pemantauan akuakultur dapat meningkatkan produktivitas dan efisiensi operasional (Arthi dkk., 2024).

Selain itu, penggunaan AI juga memungkinkan optimisasi manajemen sumber daya dalam akuakultur. Dengan bantuan data *real-time*, penggunaan sumber daya seperti energi dan bahan kimia untuk pengendalian kualitas air dapat disesuaikan sesuai kebutuhan aktual. Hal ini dapat mengurangi biaya operasional dan meningkatkan keberlanjutan dalam proses produksi. Efektivitas sistem ini juga didukung oleh kemampuannya untuk mengumpulkan dan menganalisis data dalam jangka waktu yang lama, sehingga memungkinkan prediksi terhadap perubahan musiman atau faktor lingkungan lainnya. Dengan demikian, sistem berbasis AI terbukti efektif dalam memantau kualitas air secara *real-time*, meminimalkan risiko kerugian dalam budidaya ikan air tawar, dan memberikan solusi yang lebih hemat biaya serta berkelanjutan bagi sektor akuakultur.

Sistem pemantauan berbasis Kecerdasan Buatan (AI) yang diartikulasikan dalam penyelidikan ini menunjukkan kemanjuran yang cukup besar dalam deteksi dan analisis parameter kualitas air secara *real-time*. Selama evaluasi empiris, sistem dengan mahir membedakan 7 dari 10 kondisi sebagai optimal, sementara

3 kondisi lainnya dikategorikan sebagai tidak optimal. Kondisi non-optimal terutama disebabkan oleh suhu yang terlalu tinggi dan kejernihan air yang rendah, yang secara langsung mengganggu keseimbangan ekosistem kolam.

Sistem ini memiliki kapasitas untuk secara bersamaan memproses data dari beberapa sensor, sehingga memfasilitasi pengawasan berkelanjutan terhadap kondisi akuatik. Seperti yang dijelaskan oleh Hussin dkk., (2019), sistem yang ditingkatkan AI memberikan keuntungan mengenai peningkatan responsivitas dan presisi dibandingkan dengan metodologi manual tradisional. Sistem ini secara mahir mengidentifikasi fluktuasi kecil dalam parameter kualitas air yang dapat menghindari pengawasan manual, sehingga memberikan peringatan pencegahan dan memungkinkan tindakan perbaikan yang cepat dilakukan.

- **Analisis Parameter Kualitas Air**

Penelitian ini mengukur empat parameter utama kualitas air, yaitu suhu, pH, salinitas, dan kejernihan air, yang semuanya mempengaruhi status optimal atau tidak optimal lingkungan budidaya ikan. Berikut adalah analisis masing-masing parameter:

A. **Suhu (°C)**, berdasarkan pengamatan pada 10 kondisi pengujian, suhu optimal untuk budidaya ikan air tawar berada pada kisaran 20.0°C hingga 27.5°C. Pada suhu yang lebih tinggi, seperti 29.0°C pada Kondisi 4 dan 30.0°C pada Kondisi 9, ikan menunjukkan penurunan kondisi fisik dan stres. Suhu yang terlalu tinggi mempercepat metabolisme ikan, yang pada akhirnya meningkatkan konsumsi oksigen dan mengurangi kadar oksigen terlarut di air (Remya dkk., 2024). Suhu yang terlalu rendah atau terlalu tinggi di luar rentang ini menghambat pertumbuhan ikan,

seperti yang ditemukan pada beberapa studi terkait suhu optimal bagi ikan air tawar (Mridul dkk., 2024).

- B. **pH**, berdasarkan parameter pH menunjukkan bahwa nilai ideal untuk budidaya ikan air tawar berkisar antara 6.7 hingga 7.8. Kondisi dengan pH yang lebih basa, seperti pada Kondisi 4 (pH 8.0) dan Kondisi 9 (pH 8.5), menyebabkan status kualitas air menjadi tidak optimal. Nilai pH yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat menyebabkan stres pada ikan dan mengganggu keseimbangan ion di tubuh ikan, yang pada akhirnya memengaruhi kesehatan mereka secara keseluruhan (Gonzalez dkk., 2024). Pengelolaan pH sangat penting karena perubahan pH yang tajam dapat menyebabkan kematian pada ikan, terutama spesies yang sensitif.
- C. **Salinitas**, hasil menunjukkan bahwa salinitas optimal untuk ikan air tawar berada dalam rentang 200 hingga 400 ppm. Pada tingkat yang lebih tinggi, seperti 600 ppm pada Kondisi 4 dan 700 ppm pada Kondisi 9, air dikategorikan sebagai tidak optimal. Salinitas yang terlalu tinggi dalam sistem air tawar dapat mengganggu osmoregulasi pada ikan, menyebabkan mereka kesulitan mengontrol keseimbangan air dan ion di dalam tubuh (Sierra dkk., 2024). Pada tingkat salinitas yang lebih rendah, ikan dapat beradaptasi dengan baik, tetapi peningkatan tajam dalam salinitas perlu dicegah.
- D. **Kejernihan Air**, yang diukur dalam NTU, berperan penting dalam menentukan kualitas lingkungan perairan. Dari pengamatan, kejernihan optimal berada pada kisaran 50 hingga 60 NTU. Penurunan kejernihan air di bawah 45 NTU, seperti yang terjadi pada Kondisi 4, 6, dan 9, berakibat pada status kualitas air yang tidak optimal. Kejernihan air yang rendah dapat menunjukkan tingginya tingkat partikel tersuspensi yang berasal dari sisa pakan atau material organik

lainnya, yang menghalangi penetrasi cahaya dan mempengaruhi proses fotosintesis di dalam air (Nunes dkk., 2022). Kurangnya penetrasi cahaya dapat mengurangi kadar oksigen terlarut, yang berdampak negatif pada kesehatan ikan.

### 3. Keunggulan dan Keterbatasan

Sistem Kontrol Kualitas Air Berbasis *Artificial Intelligence* pada Kolam Budidaya Ikan Air Tawar memiliki keunggulan yaitu:

- A. Penggunaan Teknologi Terbaru (AI dan IoT), penelitian ini memanfaatkan kecerdasan buatan (AI) dan Internet of Things (IoT) dalam memantau kualitas air secara real-time, yang meningkatkan akurasi, efisiensi, dan responsivitas dalam budidaya ikan air tawar. Dengan teknologi ini, pengelola dapat melakukan pemantauan secara otomatis, mengurangi ketergantungan pada metode manual yang lebih lambat dan rentan terhadap kesalahan manusia.
- B. Penyesuaian otomatis kondisi kualitas air, sistem yang dikembangkan memungkinkan penyesuaian otomatis terhadap parameter kualitas air seperti suhu, pH, salinitas, dan kejernihan air. Hal ini membantu mengurangi risiko kondisi air yang buruk, yang dapat menurunkan kesehatan ikan, meningkatkan produktivitas, dan mengurangi risiko kematian ikan.
- C. Kontribusi terhadap efisiensi operasional akuakultur, dengan kemampuan sistem untuk melakukan pemantauan dan penyesuaian secara real-time, penelitian ini memberikan solusi yang lebih efisien dalam mengelola kualitas air, mengurangi waktu dan tenaga yang dibutuhkan dalam pemeliharaan manual.

Sistem Kontrol Kualitas Air Berbasis *Artificial Intelligence* pada Kolam Budidaya Ikan Air Tawar memiliki keterbatasan yaitu:

- A. Biaya implementasi awal yang tinggi, karena memerlukan biaya yang cukup besar untuk perangkat keras, sensor, dan infrastruktur pendukung. Ini bisa menjadi kendala bagi petani ikan skala kecil yang memiliki keterbatasan modal.
- B. Ketidakpastian terhadap perubahan ekosistem, meskipun sistem ini dirancang untuk menyesuaikan parameter air secara otomatis, perubahan mendadak dalam ekosistem, seperti cuaca ekstrem atau polusi eksternal, bisa mempengaruhi keefektifan sistem dalam memantau dan menyesuaikan kualitas air.

## **F. Penutup**

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem kontrol kualitas air berbasis kecerdasan buatan (AI) untuk pemantauan real-time pada kolam budidaya ikan air tawar. Sistem ini mampu mendeteksi perubahan pada parameter utama seperti suhu, pH, salinitas, dan kejernihan air, serta melakukan penyesuaian otomatis. Dengan kemampuan untuk memantau kondisi secara terus menerus, sistem ini terbukti meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi risiko kematian ikan, dan memaksimalkan kualitas hasil budidaya. Keunggulan utama sistem ini adalah kemampuannya dalam menyediakan solusi berbasis teknologi yang lebih efisien dan berkelanjutan dibanding metode manual.

### **1. Sensitivitas dan Akurasi Sensor Peningkatan**

Peningkatan teknologi sensor yang digunakan dalam sistem ini sangat dianjurkan. Penggabungan sensor yang menunjukkan sensitivitas dan akurasi yang lebih tinggi akan memungkinkan deteksi variasi kecil dalam parameter kualitas air yang mungkin diabaikan oleh sensor yang ada. Penyebaran sensor yang lebih canggih dapat meningkatkan kemanjuran sistem dalam mencegah kondisi yang kurang optimal sebelum mereka meningkat menjadi masalah kritis.

## 2. Pengujian di Berbagai Lingkungan dan Skala

Untuk memastikan keandalan dan kemampuan beradaptasi sistem, disarankan untuk melakukan pengujian tambahan di berbagai pengaturan akuakultur dan pada skala yang lebih besar. Mengevaluasi sistem di lokasi yang berbeda dengan kondisi lingkungan yang beragam akan menghasilkan kumpulan data yang lebih komprehensif, yang dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja sistem dan memastikan keandalannya di berbagai skenario akuakultur.

## 3. Pengembangan Fitur Otomasi Lebih Lanjut:

Diusulkan untuk mengembangkan dan mengintegrasikan fitur otomasi tambahan, seperti pengaturan otonom aliran air, kontrol suhu, dan aerasi. Dimasukkannya fitur otomasi tersebut akan memungkinkan sistem tidak hanya mendeteksi masalah tetapi juga menerapkan tindakan korektif secara mandiri, sehingga mengurangi kebutuhan untuk intervensi manusia dan meningkatkan efisiensi operasional secara keseluruhan.

## G. Daftar Pustaka

- Adeleke, A. K. (2024). Intelligent Monitoring System for Real-Time Optimization of Ultra-Precision Manufacturing Processes. *Engineering Science & Technology Journal*, 5(3), Article 3. <https://doi.org/10.51594/estj.v5i3.904>
- Arthi, P., Mahesh, N., Saipursoth, H., & Janardhanam, B. (2024). IoT based Smart Aquaculture Monitoring System for Fish Tank Management. *Journal of Ubiquitous Computing and Communication Technologies*, 6(3), 214–227. <https://doi.org/10.36548/jucct.2024.3.001>
- Bhat, P., Vasanth, P., M. D., Shreesha, S., Manohara Pai, M. M., & Pai, R. M. (2022). Aquaculture Monitoring System: A Prescriptive Model. In *International Conference on Data Analytics & Learning*, 77–88.
- Bunting, S. W., Bostock, J., Leschen, W., & Little, D. C. (2023). Evaluating the potential of innovations across aquaculture

- product value chains for poverty alleviation in Bangladesh and India. *Frontiers in Aquaculture*, 2. <https://doi.org/10.3389/faqc.2023.1111266>
- David, M. A. M., & Iriana, R. (2024). Pembuatan Prototype Alat Monitoring Kualitas Air Berbasis Internet of Things (IOT). *Jurnal Ilmiah Teknik*, 3(2), Article 2. <https://doi.org/10.56127/juit.v3i2.1502>
- Erdian Pratiwi, A., Titah, H. S.,(2024). An Effectiveness of Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetland to Improve Fish Pond Water Quality. *International Journal of Multidisciplinary Research and Analysis*, 07(07). <https://doi.org/10.47191/ijmra/v7-i07-34>
- Erwin, E., Datya, A. I., Nurohim, N., Sepriano, S., Waryono, W., Adhicandra, I., Budihartono, E., & Purnawati, N. W. (2023). *Pengantar & Penerapan Internet of Things: Konsep dasar & Penerapan IoT di berbagai Sektor*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Febriansyah, F. (2023). *Perancangan Alat Pendeteksi Tingkat Kekeruhan Air dan Pengurusan Air pada Aquarium* [Undergraduate, Universitas Satya Negara Indonesia]. <http://repo.usni.ac.id/3402/>
- Fitria, E. A., Utama, A. D., Suhendra, D., Harahap, E. J., Karina, I., Aisyah, S., Mustamu, N. E., & Rahman, A. (2024). *Pertanian Berkelanjutan*. Yayasan Tri Edukasi Ilmiah.
- Fitriana, N., & Mufida, M. (2024). Pengukuran kadar keasaman (pH) pada budidaya ikan lele di Desa Lumbangsari Kecamatan Bululawang Kota Malang sebagai metode alternatif untuk mencegah tumbuhnya bakteri patogen. *Alamtana: Jurnal Pengabdian Masyarakat UNW Mataram*, 5(1), Article 1.
- Gonzalez, R. J., Patrick, M. L., & Val, A. L. (2024). Ion uptake in naturally acidic water. *Journal of Comparative Physiology B*. <https://doi.org/10.1007/s00360-024-01552-6>
- Hambali, N., Mohd Yusof, A. A., (2024). An In-depth Review of the Critical Water Analysis Parameter and Water Quality Management Technology in Cage Aquaculture within

- Malaysian Coastal Regions. *Jurnal Kejuruteraan*, 36(3), 861–875. [https://doi.org/10.17576/jkukm-2024-36\(3\)-03](https://doi.org/10.17576/jkukm-2024-36(3)-03)
- Hussin, W. N. T. W., Harun, J., & Shukor, N. A. (2019). Online interaction in social learning environment towards critical thinking skill: A framework. *Journal of Technology and Science Education*, 9(1), 4–12. Scopus. <https://doi.org/10.3926/jotse.544>
- Jomsri, P., & Prangchumpol, D. (2024). Prototype of a Water Quality Management System for Smart Aquaculture Using Solar System to Support Fish Farmer, Phragndang, Amphawa, Samut Songkhram Province. *2024 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT (MetroInd4.0 & IoT)*, 54–58. <https://doi.org/10.1109/MetroInd4.0IoT61288.2024.10584166>
- Khademi-Vidra, A., Urbányi, B., & Bakos, I. M. (2024). Educational and training innovation opportunities in the aquaculture and fisheries sector of Hungarian secondary agricultural education. *Aquaculture International*, 32(5), 5437–5459. <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01432-4>
- Londhe, A., Apare, R., & Borhade, R. (2024). Aqua Status Prediction Using IoT and Optimization in Aquaculture: A Comprehensive Review. *2024 MIT Art, Design and Technology School of Computing International Conference (MITADTSoCiCon)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/MITADTSoCiCon60330.2024.10575248>
- Mohale, H. P., Narsale, S. A., Kadam, R. V., Prakash, P., Sheikh, S., Mansukhbhai, C. R., Kirtikumar, P. B., & Baraiya, R. (2024). Artificial Intelligence in Fisheries and Aquaculture: Enhancing Sustainability and Productivity. *Archives of Current Research International*, 24(3), Article 3. <https://doi.org/10.9734/acri/2024/v24i3650>
- Moni, J., Jacob, P. M., Sudeesh, S., Nair, M. J., George, M. S., & Thomas, M. S. (2024). A Smart Aquaculture Monitoring System with Automated Fish Disease Identification. *2024*

- 1st International Conference on Trends in Engineering Systems and Technologies (ICTEST), 01–06.  
<https://doi.org/10.1109/ICTEST60614.2024.10576108>
- Mridul, Md. M. I., Zeehad, Md. S. K., Aziz, D., Salin, K. R., Hurwood, D. A., & Rahi, Md. L. (2024). Temperature induced biological alterations in the major carp, Rohu (*Labeo rohita*): Assessing potential effects of climate change on aquaculture production. *Aquaculture Reports*, 35, 101954. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.101954>
- Nchegang, B., Enow, T. M., Nkongho, G. O., & Tan, P. V. (2024). Impact of Water Quality on the Growth Performance of *Clarias gariepinus* in Fish Farms within Fako Division, Cameroon. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*, 26(7), Article 7. <https://doi.org/10.9734/ajfar/2024/v26i7787>
- Nunes, P., Roland, F., Amado, A. M., Resende, N. da S., & Cardoso, S. J. (2022). Responses of Phytoplanktonic Chlorophyll-a Composition to Inorganic Turbidity Caused by Mine Tailings. *Frontiers in Environmental Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.605838>
- Okuyelu, O., & Adaji, O. (2024). AI-Driven Real-time Quality Monitoring and Process Optimization for Enhanced Manufacturing Performance. *Journal of Advances in Mathematics and Computer Science*, 39(4), Article 4. <https://doi.org/10.9734/jamcs/2024/v39i41883>
- Priahenanda, R. R. (2024). *Perancangan Infografis Budidaya Ikan dalam Ember sebagai Edukasi Pemanfaatan Lahan Terbatas – Repositori Universitas Dinamika* [Universitas Dinamika]. <https://repository.dinamika.ac.id/id/eprint/7558/>
- Remya, V. K., Cheruparambath, P., Sreelekha B, Vijayalekshmi U, & Banu, C. A. (2024). Impact of Temperature on the Growth Performance, Survival Rate, Osmoregulation, Dissolved Oxygen and Physiological Changes of Freshwater Tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *UTTAR PRADESH JOURNAL OF ZOOLOGY*, 45(15), Article 15. <https://doi.org/10.56557/upjoz/2024/v45i154230>

- Riftiarrasyid, M. F., & Soewito, B. (2024). Monitoring water quality parameters impacted by Indonesia's weather using internet of things. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 35(3), 1426-1426. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v35.i3.pp1426-1436>
- Sabri, S. I. M., Sazali, N., Jamaludin, A. S., Harun, W. S. W., Kadirgama, K., & Ramasamy, D. (2023). Investigation on Water Quality for Farmed Aquatic Species by IoT Monitoring System. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 31(3), Article 3. <https://doi.org/10.37934/araset.31.3.317327>
- Salam, Md. A., Akib, A. S. M. A. S., Islam, M., Uddin, M. M., Piyal, S. K., Habib, M. A., Mosa, Md. A., & Hussain, M. R. (2024). Precision Fish Farming to Mitigate Pond Water Quality Through IoT. *2024 IEEE 3rd International Conference on Computing and Machine Intelligence (ICMI)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICMI60790.2024.10585680>
- Saparinto, C. (2024). *Budi Daya Gurami Di Lahan Terbatas*. Penerbit Andi.
- Saputra, I. J. (2024). Design And Construction Of An Automatic Fish Cultivation System Based On The Internet Of Things. *Jurnal Media Computer Science*, 3(1), Article 1. <https://doi.org/10.37676/jmcs.v3i1.4894>
- Sierra, C. E., Arguelles, M. C., Vinyoles, D., & Lampert. (2024). Unraveling the molecular mechanisms of fish physiological response to freshwater salinization: A comparative multi-tissue transcriptomic study in a river polluted by potash mining. *Environmental Pollution*, 124400-124400. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124400>
- Sugiyono. (2022). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, R & D*. CV Alfabeta.
- Wang, S.-W., & Fan, C. (2023). Challenges of Water Quality Management for Agricultural Development. *Water*, 15(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/w15101816>

- Yang, Z., Li, D., Song, J., Bao, E. ., Wang, Q., Qiu, Y., & Wu, Z. (2023). Numerical calculation and experimental analysis of thermal environment in industrialized aquaculture facilities. *Plos One*, 18(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290449>
- Yimer, E. (2023). Aquaculture and Diseases with Emphasis on Finfish Culture. *Ecological Insights*, 2(1), Article 1. <https://doi.org/10.59411/3bsjgv33>
- Zhang, T., Zhang, L., Yin, T., You, J., Liu, R., Huang, Q., Shi, L., Wang, L., Liao, T., Wang, W., & Ma, H. (2023). Recent understanding of stress response on muscle quality of fish: From the perspective of industrial chain. *Trends in Food Science & Technology*, 140, 104145. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104145>

## **BAB II**

# **PENGEMBANGAN TEMPAT SAMPAH PINTAR BERBASIS *ARTIFICIAL INTELLIGENCE***

**Hj. Rahmaniar Emilian Noor, S.Pd**  
**Mohamad Nor Aufa, M.Pd.**  
**Ratu Aqilah Lim Su Been**  
**Zulkhaidir**  
**Rahman**

### **A. Pendahuluan**

Indonesia dihadapkan dengan permasalahan signifikan yang berkaitan dengan pengelolaan sampah, yang merupakan perhatian utama bagi lingkungan. Menurut data yang disebarluaskan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dan Kementerian Perindustrian, seperti yang dilaporkan oleh Bank Dunia pada tahun 2019, volume sampah yang disimpan di tempat pembuangan sampah di seluruh Indonesia berjumlah sekitar 67 juta ton per tahun, terdiri dari 60% sampah organik dan 15% sampah plastik. Selanjutnya, pada tahun 2022, Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) mengindikasikan bahwa di antara 202 kabupaten dan kota yang berpartisipasi, total volume Tempat Pembuangan Akhir (TPA) nasional mencapai 35 juta ton, di mana 34,29% (7,2 juta ton) tidak berhasil dikelola dengan standar optimal (Menko PMK).

Masalah membuang sampah sembarangan diperburuk oleh perilaku masyarakat, karena manusia sering membuang sampah tanpa pandang bulu, terlepas dari latar belakang pendidikan atau kedudukan sosial mereka. Perbuatan semacam itu berdampak buruk pada lingkungan, mengakibatkan degradasi ekosistem yang cukup besar. Penentu utama yang mempengaruhi perilaku ini meliputi faktor-faktor kebiasaan (termasuk pengetahuan, sikap, keyakinan, pendidikan, status ekonomi, dan demografi), faktor pendukung (berkaitan dengan

ketersediaan sumber daya, infrastruktur, dan penjangkauan sosial), dan faktor pendorong (melibatkan kebijakan pemerintah daerah) (Marpaung dkk., 2022).

Penerapan strategi pengelolaan sampah yang efektif sangat penting untuk menumbuhkan lingkungan yang sehat dan bersih. Namun, sistem operasional dari pengelolaan sampah sering terhambat oleh kesadaran publik yang tidak memadai dan kendala teknologi yang menghambat pemilihan otomatis sampah sebelum daur ulang. Rendahnya tingkat kesadaran masyarakat mengenai pembuangan sampah yang tepat menjadi kendala yang signifikan di Indonesia. Tanpa adanya kesadaran dimana manusia harus membuang sampah, maka akan berlanjut terus-menerus timbulnya tumpukan sampah di berbagai tempat dan meningkatkan risiko masalah lingkungan dan kesehatan (Hafizah dkk., 2023).

Setiap hari aktivitas manusia menghasilkan beragam kategori sampah yang berasal dari sumber perumahan dan industri. Dengan tidak adanya sistem pengelolaan yang tepat, sampah ini dapat menimbulkan banyak kerugian, termasuk gangguan kesehatan, kontaminasi lingkungan, polusi udara, dan memperparah efek pemanasan global. Saat ini, banyak sistem pembuangan sampah terus mengandalkan metode manual yang belum sempurna, di mana manusia mengangkat tutup tempat sampah dan menyimpan sampah mereka tanpa pemilahan sebelumnya. Keadaan ini mengakibatkan tantangan dalam proses pengelolaan sampah selanjutnya (Janaki, 2024).

Masalah serupa juga terlihat dalam institusi pendidikan, di mana sejumlah besar siswa-siswi menunjukkan keengganan dalam membuang sampah dengan tepat, apalagi memisahkannya sesuai dengan jenis sampahnya. Terlepas dari upaya untuk meningkatkan kesadaran mengenai pentingnya pemilahan sampah di sekolah, sebagian besar siswa-siswi tetap tidak memperhatikan atau mengabaikan untuk menerapkannya. Akibatnya, sampah dalam institusi pendidikan menimbulkan kesulitan untuk usaha daur ulang yang efektif (Nasution dkk., 2023).

Oleh karena itu, inovasi terbaru sangat penting untuk mengatasi permasalahan ini, salah satunya dengan Pengembangan Tempat Sampah Pintar berbasis *Artificial Intelligence*. Sistem ini dirancang dengan kamera sebagai scanner yang berfungsi untuk memindai visual dan mengidentifikasi jenis sampah sebelum di buang. Dalam kasus di mana sampah yang dibuang tidak sesuai dengan kategori yang ditentukan, sistem akan mengeluarkan peringatan “sampah tidak sesuai”, dan akan memberikan pemberitahuan ketika wadah dari tiap jenis sampah telah mencapai kapasitas (S.m, 2023).

Tujuan dari penelitian pengembangan ini adalah pengelolaan sampah yang lebih efisien, dimana dapat mengurangi dampak buruk bagi lingkungan, manusia dan lainnya, serta mendorong pembuangan sampah sesuai jenis yang lebih baik di kalangan masyarakat berbasis teknologi pintar berupa *Artificial Intelligence*.

## **B. Sampah Dan Jenisnya**

### **1. Definisi sampah**

Sampah adalah materi yang dianggap tidak lagi berguna atau bernilai bagi pemiliknya dan dibuang. Secara umum, sampah dapat dibagi menjadi dua kategori besar: sampah organik dan sampah anorganik. Sampah organik termasuk bahan-bahan yang berasal dari makhluk hidup, seperti sisa makanan dan daun-daunan, yang dapat terurai secara alami. Sementara sampah anorganik terdiri dari material non-organik yang tidak dapat terurai dengan mudah, seperti plastik, logam, dan kaca. (Mardiana dkk., 2023) Menurut *Waste Management Theory*, sampah merupakan hasil sampingan dari konsumsi dan produksi yang tidak lagi dapat dimanfaatkan dalam bentuk aslinya oleh pemiliknya, dan memerlukan pengelolaan untuk menghindari dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. (Foote, 2022)

## 2. Jenis Sampah

Kategorisasi jenis sampah di Indonesia didasarkan pada karakteristik kimianya, yang dikategorikan ke dalam tiga klasifikasi utama: sampah organik, sampah anorganik, dan sampah B3 (Purba, 2024):

- a. Sampah organik meliputi bahan yang berasal dari makhluk hidup dan dapat terurai secara alami oleh proses biologis yang dapat didekomposisi melalui bantuan oleh mikroorganisme, termasuk bakteri dan jamur. Sebagian besar sampah basah di Indonesia, yang merupakan sekitar 60-70% dari jumlah sampah keseluruhan, adalah sampah organik yang ditandai dengan kadar air yang tinggi, biasanya berkisar antara 65-75% (Siahaan dkk., 2024). Sampah organik ini sebagian besar berasal dari pasar tradisional, di mana diperkirakan sekitar 95% dari sampah yang dihasilkan ialah sampah organik (Carolina & Tripuro, 2024).
- b. Sampah anorganik, biasa disebut sampah kering, termasuk kategori sampah yang tidak dapat terurai dengan alami dan sebagian besar terdiri dari bahan-bahan non-organik yaitu, plastik, logam, kaca, dan karet. Proses penguraian nya lama, dan jika tidak dikelola dengan baik, dapat mengakibatkan efek buruk yang cukup besar pada lingkungan (Purba, 2024).
- c. Sampah B3, yang dicirikan sebagai sampah berbahaya dan beracun. Kategori sampah ini lekat racun dan memerlukan protokol penanganan khusus. Sampah B3 sering dihasilkan dari operasi industri, serta dari produk yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Perkembangan-perkembangan industri juga berkaitan langsung dengan meningkatnya keragaman jenis sampah B3 yang dihasilkan (Purba, 2024).

Klasifikasi dan pengelolaan sampah di Indonesia diatur oleh Peraturan Menteri Dalam Negeri No. 33 tahun 2010, yang menggambarkan bahwa pengelolaan sampah oleh

otoritas lokal harus mencakup pemilahan, pengumpulan, pengangkutan, pengolahan, dan pembuangan akhir sampah (Hudiya, 2024). Pasal 5 peraturan tersebut menekankan pentingnya pemilahan sampah di tingkat rumah tangga dengan mengamanatkan penyediaan wadah terpisah untuk sampah organik dan anorganik. Meskipun demikian, masih sangat banyak masyarakat yang tidak memiliki pemahaman komprehensif tentang jenis sampah, sehingga tidak ada penerapan pemilahan sampah terlebih dahulu di rumah sebelum dibuang (Hudiya, 2024).

Pemahaman menyeluruh dan penerapan klasifikasi sampah yang efektif sangat penting untuk optimalisasi pengelolaan sampah, mengingat dampak yang mendalam bagi keberlanjutan lingkungan dan kesehatan masyarakat. Langkah pertama yang digunakan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat dan mendorong partisipasi dalam pemilahan dan pengelolaan sampah sangat penting untuk mewujudkan tujuan tata kelola lingkungan yang berkelanjutan. Dengan menggunakan sistem Tempat Sampah Pintar berbasis *artificial intelligence* diharapkan dapat membantu pemilahan sampah dengan otomatis agar pengolahan daur ulang menjadi lebih optimal.

### **Perilaku Dan Pengetahuan Masyarakat Mengenai Sampah**

Kurangnya kesadaran masyarakat dan pemahaman tentang pengelolaan sampah merupakan faktor utama yang menyebabkan degradasi lingkungan. Banyak kegiatan sehari-hari, seperti kecenderungan untuk membuang sampah tanpa pandang bulu, mencontohkan perilaku tidak bertanggung jawab yang berdampak buruk pada lingkungan. Perilaku semacam itu tidak terbatas pada kalangan tertentu di masyarakat pada strata sosial dan pencapaian pendidikan, menunjukkan bahwa masalah ini ada di mana-mana dan memerlukan pengawasan yang ketat (Ratna, 2021).

Dampak dari sikap lalai terhadap membuang sampah sembarangan memberikan pengaruh besar pada kesehatan ekologis. Pengaruh ini diperburuk ketika penduduk memprioritaskan kenyamanan masing-masing daripada kesejahteraan bersama di bidang pengelolaan sampah. Untuk mengatasi permasalahan ini, keterlibatan masyarakat sangat penting, terutama dalam pemilihan sampah sebelum dibuang. Langkah ini tidak hanya mengurangi beban para pekerja pengelolaan sampah tetapi juga dapat membantu melestarikan lingkungan (Lisa dkk., 2024).

Peran masyarakat sangat penting dalam pengelolaan sampah yang efektif. Dengan cara sederhana yaitu memisahkan sampah berdasarkan jenisnya, masyarakat bisa membantu meningkatkan cara pengelolaan sampah. Selain itu, dukungan dari kebijakan pemerintah yang mendorong partisipasi aktif masyarakat juga sangat penting untuk mencegah masalah besar dan kerusakan lingkungan di masa depan (Lisa dkk., 2024).

Akibatnya, peningkatan perilaku dan pengetahuan masyarakat mengenai sampah harus menjadi perhatian khusus dalam pengelolaan lingkungan berkelanjutan. Selain dengan melakukan usaha dalam pendidikan dan kampanye untuk menjelaskan pentingnya memisahkan sampah dan mengelolanya dengan baik. Diperlukan sistem yang dikembangkan untuk memilah sampah secara otomatis yang dapat dikontrol dan dipantau melalui smartphone, laptop, dan komputer, dimana usaha ini akan membantu masyarakat dalam mengelola sampah secara mandiri dengan baik untuk menjaga lingkungan.

### **C. Pengembangan Tempat Sampah Pintar Berbasis *Artificial Intelligence***

Kemajuan teknologi dalam era globalisasi modern telah mendorong inovasi di berbagai macam bidang, termasuk pengelolaan sampah. Penggabungan teknologi ke dalam pengelolaan sampah tidak hanya meningkatkan efisiensi

operasional tetapi juga mengurangi konsekuensi kerusakan lingkungan yang merugikan.

Inovasi penting di bidang ini dengan dikembangkannya tempat sampah pintar berbasis *artificial intelligence*. Sistem yang dikonseptualisasikan dengan mikrokontroler ESP32, yang terintegrasi dengan modul Wi-Fi, memberi konektivitas antara sistem dengan handphone, laptop dan komputer. Integrasi ini memungkinkan untuk mengendalikan dan memantau tempat sampah pintar dari jarak jauh, mikrokontroler ESP32 beroperasi bersama-sama dengan serangkaian sensor, yaitu Sensor Ultrasonik untuk pengukuran jarak, Sensor Proximity Kapasitif dan Induktif untuk identifikasi berbagai jenis sampah dan Motor Servo untuk pergerakan komponen.

Penerapan sistem tempat sampah pintar berbasis *artificial intelligence* dalam pemilihan sampah dapat memberikan manfaat yang besar, terutama dalam proses daur ulang. Dengan menggunakan kamera yang terintegrasi untuk menscan jenis sampah secara visual, tempat sampah pintar ini mengidentifikasi jenis dari sampah dan secara otomatis memasukkan sampah tersebut ke wadah yang sesuai, sehingga mempermudah pekerjaan orang-orang yang bertanggung jawab dalam mengelola sampah. Sistem yang sedang dikembangkan ini tidak hanya menghemat waktu dan tenaga tetapi juga berkontribusi positif terhadap inisiatif pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan.

penelitian pengembangan ini, diharapkan bisa menjadi solusi untuk pengelolaan sampah menjadi lebih efektif, sistem ini tidak hanya cocok digunakan di area perumahan, tetapi juga dapat dengan mudah diterapkan di berbagai tempat yang membutuhkan pengelolaan sampah yang lebih efektif dan teratur. Dalam penelitian ini, tempat sampah pintar berbasis *artificial intelligence* diterapkan di sekolah, yaitu dalam ruang MAN 2 Kota Banjarmasin. Dengan tujuan meningkatkan pengelolaan sampah di lingkungan sekolah dan mempermudah proses pemilahan jenis sampah secara otomatis untuk mendukung praktik pengelolaan daur ulang yang lebih baik.

## 1. Alat-alat Pengembangan Tempat Sampah Pintar Berbasis *Artificial Intelligence*

- **Arduino ide (Integrated Development Environment)**  
Arduino IDE (Integrated Development Environment) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menulis dan mengunggah kode program ke papan mikrokontroler Arduino. IDE ini mendukung berbagai papan Arduino seperti Arduino Uno, Arduino Mega, Arduino Nano, dan mikrokontroler lainnya.
- **Mikrokontroler ESP 32**  
Mikrokontroler ESP32 adalah sebuah perangkat sistem komputer mini yang terintegrasi dalam sebuah chip yang dirancang untuk mengendalikan perangkat elektronik dan berfungsi sebagai otak dari berbagai proyek Internet of Things (IoT). ESP32 adalah mikrokontroler yang dilengkapi dengan prosesor dual-core yang kuat, memori yang cukup, serta kemampuan untuk berkomunikasi melalui Wi-Fi dan Bluetooth. Ini membuatnya sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan konektivitas jaringan dan kontrol jarak jauh.
- **Sensor Ultrasonik**  
Sensor ultrasonik adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur jarak atau mendeteksi keberadaan objek menggunakan gelombang ultrasonik. Sensor ini bekerja dengan memancarkan gelombang suara pada frekuensi ultrasonik (biasanya di atas 20 kHz, yang tidak bisa didengar oleh manusia) dan kemudian mendeteksi pantulan gelombang tersebut ketika mengenai suatu objek.
- **Sensor Proximity Kapasitif**  
Sensor proximity kapasitif adalah jenis sensor yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan atau kedekatan objek tanpa harus menyentuhnya, berdasarkan perubahan kapasitansi listrik yang diakibatkan oleh keberadaan objek tersebut. Sensor ini dapat mendeteksi berbagai jenis material, baik itu logam maupun non-logam, termasuk plastik, kayu, kaca, dan cairan.

- **Sensor Proximity Induktif**

Sensor proximity induktif adalah jenis sensor yang digunakan untuk mendeteksi objek logam tanpa kontak fisik, berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Sensor ini sangat populer dalam aplikasi industri untuk mendeteksi keberadaan atau posisi objek logam seperti besi, baja, aluminium, atau tembaga.

- **Motor servo**

Motor servo adalah motor listrik yang digunakan untuk pengaturan posisi sudut atau rotasi yang cermat dengan akurasi luar biasa. Motor servo digunakan dalam aplikasi yang memerlukan pengendalian gerakan yang tepat, untuk mengontrol posisi & penggerakan.

## 2. Rancangan Dan Cara Kerja Alat Tempat Sampah Pintar Berbasis Ai

### a. Alat dan Bahan

Alat dan Bahan yang digunakan dalam penelitian pengembangan ini adalah:

- 1) Arduino ide (Integrated Development Environment)
- 2) Mikrokontroler ESP 32
- 3) Sensor Ultrasonik
- 4) Motor servo
- 5) Sensor Proximity Kapasitif
- 6) Sensor Proximity Induktif

### b. Rancangan dan Prosedur Pembuatan

Penelitian pengembangan ini menggunakan metodologi eksperimental dengan tujuan mengkonseptualisasikan dan mengevaluasi keefektifan tempat sampah pintar berbasis *artificial intelligence*. Tempat sampah pintar ini dilengkapi dengan berbagai sensor, termasuk sensor ultrasonik yang berfungsi untuk mengidentifikasi keberadaan sampah dalam kisaran tertentu, yaitu kurang dari 30 cm. sensor proximity kapasitif & sensor proximity induktif yang berfungsi untuk mengidentifikasi jenis sampah, Selain itu, sistem mengintegrasikan kamera untuk mengidentifikasi visual

jenis sampah. Informasi yang diperoleh dari sensor ini kemudian diproses oleh mikrokontroler untuk mengarahkan sampah yang telah masuk ke tempat sampah pintar ke tempat sampah yang dengan klasifikasi jenisnya (Widiatmoko dkk., 2022)

**c. Proses Pembuatan:**

**1) Perancangan (*Hardware*):**

- a) Desain tempat sampah dengan beberapa kompartemen untuk memisahkan jenis sampah, misalnya organik, non-organik, dan B3.
- b) Ukuran tempat sampah disesuaikan dengan ruang yang tersedia dan jumlah sampah yang diperkirakan.
- c) Mengintegrasikan seluruh komponen sesuai dengan skema sistem, yaitu integrasi sensor ultrasonik dengan bread board, sensor proximity kapasitif dan sensor proximity induktif untuk mengidentifikasi jenis sampah, kemudian sampah masuk melewati jalur yang ada di dalam kerangka operasional Tempat Sampah Pintar dan sampah akan masuk sesuai dengan jenis tempatnya. Tingkat sampah di dalam tempat sampah dipantau secara real-time, yang akan mengirimkan pemberitahuan kepada pengguna ketika wadah mencapai kapasitas, sehingga pengelolaan sampah lebih efektif dan teregulasi.

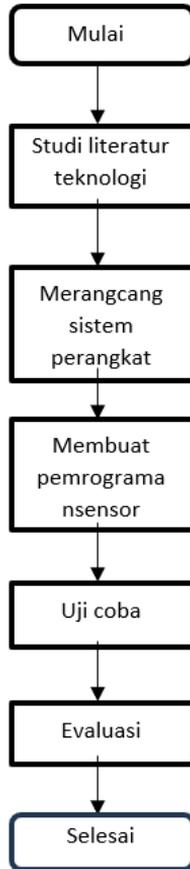
**2) Perancangan (*Software*):**

- a) Menyiapkan & memasukkan kode pemrograman untuk menjalankan sistem pada platform Arduino IDE.
- b) Menyesuaikan kode dengan perintah keinginan untuk sistem beroperasi dengan baik.
- c) Mengunggah program ke sistem.
- d) Melakukan pengujian untuk memastikan fungsionalitas sistem yang tepat.

**D. Cara Kerja Dan Prosedur Penggunaan**

### **Cara Kerja Sistem:**

- **Deteksi Awal dengan Sensor Ultrasonik:** Ketika sampah didekatkan pada jarak tertentu dari tempat sampah, sensor ultrasonik mendeteksi keberadaan sampah. Ketika sampah yang akan dibuang terdeteksi pada jarak kurang dari 30 cm, sinyal dikirim ke mikrokontroler ESP 32.
- **Identifikasi Jenis Sampah:** Mikrokontroler ESP 32 menerima sinyal dari sensor proximity kapasitif yang berfungsi untuk mendeteksi sampah non-logam, dan sensor induktif yang berfungsi untuk mendeteksi sampah logam. Data ini digunakan oleh sistem untuk mengidentifikasi jenis sampah (Santoso, 2024).
- **Pengaturan Tutup dan Tempat:** Berdasarkan klasifikasi sampah, ESP 32 mengirimkan sinyal ke motor servo untuk membuka tutup tempat sampah dan mengarahkan sampah ke tempat yang sesuai:
  - a. **Sampah Non-Logam:** Jika sensor kapasitif aktif, motor servo diarahkan untuk membuka tempat sampah non-logam.
  - b. **Sampah Logam:** Jika sensor induktif aktif, motor servo diarahkan untuk membuka tempat sampah logam.Setelah sampah dimasukkan ke dalam tempat yang sesuai, sensor ultrasonik memastikan tidak ada objek lagi di dekat tutup. Mikrokontroler kemudian mengirimkan sinyal untuk menutup tutup tempat sampah.
- **Pemantauan dan Pembelajaran:** Pemantau penggunaan dan kinerja sistem dapat dilakukan secara real-time. Data dari sensor dan motor servo dapat dikirim ke website yang telah disediakan menggunakan konektivitas Wi-Fi. Sistem dapat mengontrol dari data-data yang telah di dapat kan untuk meningkatkan keakuratan dan respons.



## E. Pengembangan Prototype Dan Pengujian Alat Tempat Sampah Pintar Berbasis Ai

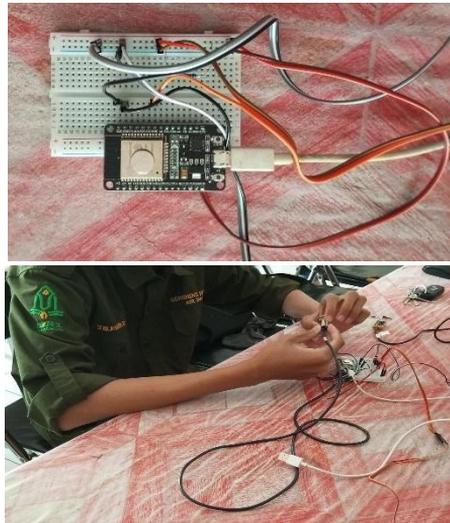
### 1. Pengembangan *Prototype* Tempat Sampah Pintar berbasis *Artificial Intelligence*

Prototype Tempat Sampah Pintar Berbasis Artificial Intelligence berhasil dikembangkan mengikuti tahapan Research and Development (R&D), yang terdiri dari beberapa fase utama: perencanaan, pengembangan, pengujian, dan evaluasi.

- a. Perencanaan: Pada tahap ini, dilakukan kajian literatur dan identifikasi komponen sistem. Perangkat keras yang digunakan meliputi mikrokontroler ESP32, kamera,

sensor ultrasonik, sensor proximity kapasitif, sensor proximity induktif, serta motor servo. Selain itu, dilakukan perancangan desain sistem untuk memastikan semua komponen dapat bekerja sesuai dengan tujuan pengembangan.

- b. Pengembangan Prototype: Tahap ini melibatkan pemrograman menggunakan platform Arduino IDE untuk mengembangkan perangkat lunak yang menginstruksikan sistem bekerja sesuai perintah. Semua komponen perangkat keras diintegrasikan ke dalam sistem untuk menjalankan fungsi deteksi, klasifikasi, dan pengelolaan sampah secara otomatis. Pemrograman difokuskan pada pengolahan data dari sensor dan kamera untuk memindahkan sampah ke kompartemen yang sesuai berdasarkan jenisnya.



Gambar 1. Proses perakitan sensor

- c. Pengujian: Setelah prototype dikembangkan, uji coba dilakukan di Madrasah Aliyah Negeri 2 Kota Banjarmasin. Uji coba meliputi pengujian sensor, efektivitas pemrograman, serta kinerja keseluruhan sistem dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan sampah. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa semua komponen bekerja sesuai rencana, termasuk

kecepatan respon, keakuratan klasifikasi, serta pemberitahuan saat tempat sampah penuh.



Gambar 2. Uji coba penggunaan tempat sampah

- d. Evaluasi dan Penyempurnaan: Berdasarkan hasil uji coba, dilakukan evaluasi untuk mengidentifikasi aspek-aspek yang perlu diperbaiki. Penyempurnaan dilakukan pada sistem perangkat lunak, respons sensor, serta ketepatan algoritma identifikasi sampah. Dengan penyempurnaan ini, prototype tempat sampah pintar dapat berfungsi lebih optimal dan siap untuk diimplementasikan dalam skala

yang lebih luas.

Pengembangan *prototype* dilakukan dengan merancang skema sistem yang memungkinkan deteksi otomatis dan klasifikasi jenis sampah. Sistem ini menggunakan kamera untuk pemindaian visual dan sensor proximity kapasitif & induktif untuk membedakan antara sampah organik, anorganik dan B3. Sensor ultrasonik berfungsi sebagai pemicu pembukaan tutup tempat sampah ketika mendeteksi keberadaan manusia pada jarak 30 cm (Afifah, 2024). Pengujian awal menunjukkan bahwa sistem ini berfungsi sesuai dengan desain, dengan respon otomatis yang akurat terhadap input.

Proses pengembangan *prototype* Tempat Sampah Pintar Berbasis *Artificial Intelligence* mengikuti langkah-langkah sistematis dalam tahapan *Research and Development* (R&D). Tahapan ini mencakup perencanaan, pengembangan perangkat keras dan perangkat lunak, serta pengujian kinerja sistem. Komponen utama yang digunakan dalam perangkat keras meliputi mikrokontroler ESP32, yang berfungsi sebagai pusat kendali sistem; sensor ultrasonik, yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan sampah dalam jarak tertentu; sensor proximity kapasitif, yang mendeteksi sampah non-logam; serta sensor proximity induktif, yang berfungsi mendeteksi sampah logam. Semua komponen ini diintegrasikan dengan motor servo, yang menggerakkan tutup tempat sampah, dan dihubungkan melalui pemrograman yang dilakukan di platform Arduino IDE. Sistem ini dirancang untuk bekerja secara otomatis berdasarkan data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor tersebut, sehingga sampah dapat diklasifikasikan dengan akurasi tinggi.

Penelitian oleh Kashef dkk (2024) mendukung penggunaan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan sensor untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah, terutama di lingkungan perkotaan. Dalam penelitian tersebut,

teknologi IoT memungkinkan pemantauan sampah secara real-time dan otomatis, yang mengurangi ketergantungan pada pemisahan sampah secara manual. Hal ini sejalan dengan penelitian ini, di mana inovasi tempat sampah pintar berbasis AI juga mengurangi interaksi manual di lingkungan sekolah, memungkinkan pemisahan sampah secara otomatis dengan lebih efisien. Dengan demikian, penelitian ini merupakan adaptasi dari konsep pengelolaan sampah pintar yang lebih luas, yang telah diterapkan di beberapa kota besar, dan menunjukkan potensi besar untuk digunakan di berbagai skala dan konteks.

## **2. Pengujian Efektivitas Sistem**

Pengujian efektivitas sistem Tempat Sampah Pintar Berbasis *Artificial Intelligence* dilakukan di lingkungan Madrasah Aliyah Negeri 2 Kota Banjarmasin. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan semua komponen bekerja dengan baik, terutama dalam hal deteksi dan klasifikasi sampah. Pengujian ini dilakukan selama 1 bulan di area sekolah, dengan tujuan mengukur perubahan perilaku siswa-siswi dalam pemilahan sampah dan menilai keefektifan sistem dalam kondisi nyata. Selama periode pengujian di Madrasah Aliyah Negeri 2 Kota Banjarmasin, Pengujian pemakaian Tempat Sampah Pintar Berbasis *Artificial Intelligence* dilaksanakan dan dianalisis untuk mengevaluasi efektivitas dan efisiensi sistem.

### **Efisiensi Sistem**

Sistem Tempat Sampah Pintar Berbasis *Artificial Intelligence* menunjukkan kinerja yang sangat baik selama periode pengujian. Sistem ini mampu mengelola sampah dengan tingkat kesalahan yang relatif rendah, menunjukkan bahwa proses identifikasi dan klasifikasi sampah oleh sensor berjalan cukup akurat. Selain itu, waktu respons sistem yang cepat, yang berkisar di bawah satu detik untuk pemberitahuan kapasitas penuh dan pemrosesan sampah, memperkuat kehandalan teknologi ini. Kecepatan tersebut

penting dalam mencegah penumpukan sampah yang berlebihan dan memastikan pemilahan sampah dapat berlangsung secara real-time tanpa keterlambatan yang berarti. Hal ini memberikan manfaat langsung, terutama di lingkungan sekolah di mana volume sampah yang dihasilkan dapat berfluktuasi tergantung pada aktivitas siswa.

Dukungan dari penelitian sebelumnya menegaskan efektivitas penggunaan AI dalam pengelolaan sampah. Sebagai contoh Rajeshree dkk (2024) menyatakan bahwa penerapan AI dalam sistem pemilahan sampah memiliki potensi besar untuk mengurangi ketergantungan pada tenaga manusia dalam proses daur ulang dan pemisahan sampah. Penerapan AI memungkinkan sistem untuk memproses data sensor dengan lebih cerdas, mengidentifikasi jenis material sampah secara otomatis, dan melakukan pemisahan dengan kecepatan dan akurasi yang lebih tinggi. Dalam penelitian ini, otomatisasi yang didukung oleh sensor dan AI memungkinkan sistem bekerja lebih cepat dan efisien dibandingkan dengan metode manual. Selain itu, pemanfaatan AI dalam pengelolaan limbah juga meningkatkan efisiensi secara keseluruhan, karena sampah dapat langsung diklasifikasikan pada sumbernya, tanpa memerlukan tenaga manusia untuk memilah secara manual.

#### **Analisis Data Pemakaian**

Data penggunaan tempat sampah pintar dikumpulkan melalui sistem pemrograman yang terhubung secara real-time. Sistem ini mencatat berbagai informasi, seperti saat pengguna mendekati tempat sampah, jenis limbah yang dimasukkan, serta kapasitas tempat sampah tersebut. Dari hasil analisis terhadap data yang diperoleh, terlihat pola penggunaan yang konsisten, dengan puncak aktivitas pengguna terjadi selama jam istirahat sekolah. Secara rata-rata, tempat sampah pintar ini mampu memproses sekitar 50 hingga 70 item limbah setiap harinya. Selain itu, data juga mengindikasikan bahwa notifikasi kapasitas penuh dikirimkan sekitar dua kali dalam sehari, menunjukkan

adanya tingkat efisiensi yang cukup baik dalam pengelolaan dan pengosongan kapasitas tempat sampah. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya berperan dalam memonitor limbah, tetapi juga membantu memastikan bahwa tempat sampah selalu dalam kondisi optimal untuk digunakan oleh para pengguna.

### **3. Kesadaran Lingkungan**

Penerapan Tempat Sampah Pintar Berbasis Artificial Intelligence berperan penting dalam meningkatkan kesadaran lingkungan di kalangan siswa. Sistem ini tidak hanya berfungsi sebagai alat teknologi, tetapi juga sebagai sarana edukasi yang mendorong siswa untuk lebih peduli terhadap pengelolaan sampah. Dengan menggunakan sensor dan teknologi AI, tempat sampah ini memudahkan proses pemilahan sampah, sehingga siswa secara otomatis belajar untuk memisahkan sampah berdasarkan jenisnya. Interaksi yang terus-menerus dengan teknologi ini membangun kebiasaan positif dalam pengelolaan sampah, yang diharapkan dapat menjadi bagian dari keseharian siswa dalam menjaga kebersihan lingkungan(Vijay dkk., 2024).

Kesadaran lingkungan merupakan salah satu aspek penting dalam pendidikan berkelanjutan, dan inovasi teknologi seperti tempat sampah pintar memberikan pendekatan yang lebih interaktif dan efektif dalam mengajarkannya. Teknologi ini membantu mengurangi beban manual dalam memilah sampah, sekaligus memberikan contoh nyata bagaimana penggunaan teknologi bisa memberikan kontribusi signifikan terhadap keberlanjutan lingkungan. Dengan adanya sistem ini, siswa lebih mudah memahami pentingnya memisahkan sampah dan merespons kebutuhan akan pengelolaan sampah yang lebih baik.

### **4. Dampak terhadap pengelolaan sampah**

Pengelolaan sampah yang efektif memiliki dampak signifikan terhadap lingkungan, terutama dalam hal

mengurangi pencemaran dan mempromosikan keberlanjutan. Tempat Sampah Pintar Berbasis Artificial Intelligence memainkan peran penting dalam menciptakan sistem pengelolaan sampah yang lebih terorganisir dan efisien. Dengan memanfaatkan sensor dan teknologi AI untuk memisahkan sampah secara otomatis berdasarkan jenisnya, sistem ini membantu mencegah tercampurnya sampah organik, anorganik, dan berbahaya (B3), sehingga memungkinkan proses daur ulang dan pengelolaan limbah berbahaya dilakukan dengan lebih baik. Hal ini tidak hanya mengurangi beban sampah yang berakhir di tempat pembuangan akhir, tetapi juga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, seperti pencemaran tanah dan air.

Selain itu, pengelolaan sampah yang baik berkontribusi pada pengurangan emisi gas rumah kaca, terutama dari sampah organik yang jika tidak dikelola dengan benar dapat menghasilkan metana, gas yang berkontribusi besar terhadap perubahan iklim. Dengan sistem yang mengklasifikasikan sampah secara otomatis, proses pemisahan menjadi lebih cepat dan efisien, sehingga sampah dapat diproses lebih cepat untuk didaur ulang atau dikelola sesuai dengan jenisnya. Dampaknya, lingkungan menjadi lebih bersih dan sehat, serta potensi untuk memperpanjang umur tempat pembuangan sampah berkurang. Sistem seperti ini juga memberikan contoh nyata kepada masyarakat mengenai pentingnya pengelolaan sampah yang bertanggung jawab dalam menjaga keberlanjutan lingkungan.

Berdasarkan semua aspek yang telah diamati, penggunaan pengelolaan sampah yang terintegrasi dengan teknologi yaitu berupa tempat sampah berbasis artificial intelligence (AI) sangat membantu. Sejalan dengan Penelitian sebelumnya yaitu mendukung pentingnya pengelolaan sampah yang terintegrasi dengan teknologi dalam menciptakan lingkungan yang lebih bersih dan berkelanjutan. Misalnya, studi yang dilakukan oleh Rajeshree

dkk (2024) menunjukkan bahwa penerapan teknologi berbasis *Artificial Intelligence* (AI) dan *Internet of Things* (IoT) dalam sistem pengelolaan sampah dapat secara signifikan mengurangi ketergantungan pada pemisahan sampah secara manual. Teknologi ini memungkinkan pengumpulan data secara real-time dan otomatis, yang meningkatkan efisiensi daur ulang serta mengurangi pencemaran lingkungan. Hal ini sejalan dengan pengembangan Tempat Sampah Pintar, di mana AI membantu dalam mengidentifikasi dan memisahkan sampah dengan lebih cepat dan akurat, sehingga mendukung proses pengelolaan limbah yang lebih baik.

Penelitian lainnya oleh (Kashef dkk., 2024) menyoroti pentingnya integrasi teknologi dalam pengelolaan limbah di lingkungan perkotaan, yang berkontribusi pada pengurangan sampah yang berakhir di tempat pembuangan akhir. Dalam konteks ini, Tempat Sampah Pintar Berbasis *Artificial Intelligence* memberikan solusi praktis untuk pengelolaan sampah di skala lebih kecil, seperti di sekolah atau komunitas, dengan dampak yang dapat diukur. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa sistem pengelolaan sampah pintar dapat secara langsung berkontribusi pada peningkatan kesadaran masyarakat dan pengurangan beban lingkungan, yang menjadikannya relevan dan sangat penting dalam konteks keberlanjutan global.

## **F. Penutup**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai pengembangan Tempat Sampah Pintar berbasis *Artificial Intelligence*, beberapa kesimpulan dapat diambil:

Pengembangan Tempat Sampah Pintar Berbasis *Artificial Intelligence*: Tempat sampah pintar berbasis *Artificial Intelligence* yang dikembangkan dalam penelitian ini berhasil mengintegrasikan beberapa komponen penting, yaitu mikrokontroler ESP32, sensor ultrasonik, sensor proximity

kapasitif, sensor proximity induktif, dan motor servo. Sistem ini mampu mengidentifikasi jenis sampah secara otomatis, sehingga dapat memisahkan sampah organik, anorganik, dan B3 dengan lebih efektif.

**Efisiensi Sistem:** Pengujian terhadap sistem menunjukkan bahwa tempat sampah pintar dapat meningkatkan efisiensi dalam proses pengelolaan sampah, khususnya dalam pemisahan jenis sampah. Penggunaan sistem ini memungkinkan pemilahan sampah secara cepat dan akurat, mengurangi kesalahan manusia dalam pemilahan dan meningkatkan peluang daur ulang.

**Kesadaran Lingkungan:** Tempat sampah pintar ini juga memiliki potensi besar untuk meningkatkan kesadaran masyarakat, khususnya di lingkungan sekolah, mengenai pentingnya pemisahan sampah. Sistem peringatan yang dikeluarkan saat sampah tidak sesuai dengan kategori yang telah ditentukan membantu mendorong perilaku pembuangan sampah yang lebih bertanggung jawab.

**Dampak terhadap Pengelolaan Sampah:** Penerapan sistem ini secara lebih luas diharapkan mampu mengurangi jumlah sampah yang tidak terkelola dengan baik, serta meminimalisir pencemaran lingkungan. Dengan pemilahan sampah yang lebih efisien, jumlah sampah yang masuk ke tempat pembuangan akhir (TPA) dapat berkurang, sehingga mendukung upaya daur ulang dan pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan.

## **G. Daftar Pustaka**

- AFIFAH, Z. (2024, Januari 17). Sistem Monitoring Via Internet Of Things Untuk Smart Garden Berdasarkan Intensitas Cahaya Dan Kelembapan Tanah: Studi Penerapan Pada Pembiakan Daun Tanaman Sukulen Crassulaceae [Skripsi]. *Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*. <http://digilib.unila.ac.id/78500/>
- Carolina, N., & Triputro, W. (2024). Efektivitas Pengelolaan Sampah di Tempat Pemrosesan Akhir Tebedak, Ngabang

- Kabupaten Landak. *TheJournalish: Social and Government*, 5(2), Article 2. <https://doi.org/10.55314/tsg.v5i2.765>
- Foote, S. (2022). Waste. Dalam L. V. Reckson (Ed.), *American Literature in Transition, 1876–1910* (1 ed., hlm. 231–244). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108763714.018>
- Hafizah, A., Pratiwi, D. A., Nuzlan, D. N. R., & Hasibuan, A. (2023). Analisis Dampak Sistem Pengelolaan Sampah TPA Terjun Di Kota Medan. *Zahra: Journal Of Health And Medical Research*, 3(3), Article 3.
- Hudiya, N. (2024). Implementasi Kebijakan Pemerintah Kabupaten Polewali Mandar tentang Penanganan Sampah = Implementation of Polewali Mandar District Government Policy on Waste Management [Other, Universitas Hasanuddin]. <https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/35007/>
- Janaki, M. T. (2024). Rancang bangun tempat sampah pemilah otomatis berbasis arduino uno dengan sensor proximity [Undergraduate, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim]. <http://etheses.uin-malang.ac.id/66189/>
- Kashef, R., Alegre, E. P., Prova, T., & Aggarwal, S. (2024). Automated Waste Management using a Customized Vision-based Transformer Model. 2024 IEEE World AI IoT Congress (AIIoT), 300–309. <https://doi.org/10.1109/AIIoT61789.2024.10578946>
- Lisa, F., Rahmadini, C. F., Musleh, M., & Tamrin, M. H. (2024). Pola Kemitraan Pemerintah Kota Surabaya dan Masyarakat Dalam Pengelolaan Sampah di Jambangan Kota Surabaya. *Kolaborasi : Jurnal Administrasi Publik*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.26618/kjap.v10i1.13071>
- Mardiana, N., Siaga Pangestuti, R., & Rusham, R. (2023). Pengembangan Kreatifitas Warga Dalam Mendaur Ulang Sedotan Menjadi Kincir-Kincir. *An-Nizam*, 2(2), 123–129. <https://doi.org/10.33558/an-nizam.v2i2.7422>

- Marpaung, D. N., Iriyanti, Y. N., & Prayoga, D. (2022). Analisis Faktor Penyebab Perilaku Buang Sampah Sembarangan Pada Masyarakat Desa Kluncing, Banyuwangi. *Preventif: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 13(1), Article 1. <https://doi.org/10.22487/preventif.v13i1.240>
- Menko PMK Sampah Telah Menjadi Ancaman Besar Bagi Kelestarian Bumi.pdf. (t.t.). Diambil 7 September 2024, dari <https://www.kemenkopmk.go.id/sites/default/files/artikel/2023-09/Menko%20PMK%20Sampah%20Telah%20Menjadi%20Ancaman%20Besar%20Bagi%20Kelestarian%20Bumi.pdf>
- Nasution, I. S., Nasution, D. A., Gianing, D. N., Wulandari, D. I., Ramadhani, K., & Eliska, E. (2023). Analisis Pengetahuan PHBS dengan Pengelolaan Sampah Pada Siswa SMP Swasta Bina Siswa Laut Dendang. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 23(2), Article 2. <https://doi.org/10.33087/jiubj.v23i2.2967>
- Purba, M. J. (2024). Faktor Yang Berhubungan dengan Tingkat Kepadatan Lalat di Tempat Penampungan Sampah Sementara (TPSS) Kecamatan Telanaipura Kota Jambi 2023 [Other, Universitas Jambi]. <https://repository.unja.ac.id/>
- Rajeshree Shinde, Shridevi Vasekar, Vaishali A. Patil, J. P. T., Anup Ingale, Ketki P. Kshirsagar,. (2024). Automated Garbage Separation Using Ai Based Robotic Arm. *Journal of Electrical Systems*, 20(2s), 1179-1193. <https://doi.org/10.52783/jes.1763>
- Ratna, D. S. (2021). Partisipasi Masyarakat dalam Mewujudkan Lingkungan Bersih Melalui Program Bank Sampah Sahabat Gajah di Desa Srikaton Kecamatan Tanjung Bintang Lampung Selatan [Undergraduate, Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung]. <http://repository.radenintan.ac.id/14344/>

- Santoso, E. W. (2024). PROTOTYPE PEMILAH DAN MONITORING SAMPAH LOGAM NON LOGAM DAN BASAH OTOMATIS BERBASIS Iot. *Jurnal Cahaya Mandalika* ISSN 2721-4796 (Online), 2514-2524. <https://doi.org/10.36312/jcm.v3i3.3415>
- S.m, et al N. R. (2023). Evaluation of Garbage Management Based on IoT. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 11(10), Article 10. <https://doi.org/10.17762/ijritcc.v11i10.8755>
- Vijay Sathappan, M., Satyanarayan, G. D., Kishore, V., Rathish, A., Sandeep, S., & Konguvel, E. (2024). Smart Bin: A Waste Classification System for Eco-Friendly Urban Environments. 2024 3rd *International Conference on Artificial Intelligence For Internet of Things (AIIoT)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/AIIoT58432.2024.10574802>
- Widiatmoko, W., Pangaribuan, P., & Barri, M. H. (2022). Penerapan Sistem Kendali Pada Mesin Pencuci Piring Dengan Menggunakan Metode Logika Fuzzy. *eProceedings of Engineering*, 9(4), Article 4. <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/18224>

# **BAB III**

## **PENGEMBANGAN SISTEM DETEKSI DAN PENCEGAHAN KEBAKARAN HUTAN BERBASIS *ARTIFICIAL INTELLIGENCE* UNTUK LAHAN GAMBUT**

**Hj. Rahmaniar Emilian Noor, S.Pd**

**Mohamad Nor Aufa, M.Pd.**

**Nena Aina Mozha**

**Hanna Nur Salsabilla**

### **A. Pendahuluan**

Kebakaran hutan dan lahan, khususnya di wilayah gambut, telah menjadi salah satu permasalahan lingkungan yang sangat serius di Indonesia, dengan dampak luas terhadap ekosistem, keanekaragaman hayati, kesehatan manusia, serta ekonomi. Lahan gambut, yang merupakan salah satu jenis lahan dengan kandungan karbon organik tertinggi, sangat rentan terhadap kebakaran, terutama selama musim kemarau. Ketika gambut mengering, maka akan dapat berubah menjadi bahan bakar alami yang sangat mudah terbakar (Fatkhullah et al., 2021).

Indonesia memiliki cadangan lahan gambut yang besar, terutama di Sumatera, Kalimantan, dan Papua. Namun, kebakaran di lahan gambut telah menjadi masalah berulang, dengan faktor penyebab yang bervariasi. Faktor alami, seperti musim kemarau panjang yang mengeringkan lahan gambut, angin kencang, dan rendahnya curah hujan, mempercepat penyebaran api, faktor antropogenik, seperti pembukaan lahan untuk pertanian dan perkebunan dengan metode pembakaran, meskipun dilarang, masih kerap dilakukan oleh oknum tertentu. Selain itu, kelalaian manusia, seperti membuang puntung rokok sembarangan di area yang kering, juga sering menjadi penyebab kebakaran (Mubarak et al., 2023).

Kebakaran di lahan gambut berbeda dengan kebakaran di lahan mineral karena sifat lahan gambut yang memungkinkan

api merambat di bawah permukaan tanah. Lahan gambut tersusun dari materi organik yang terakumulasi selama ribuan tahun, sehingga ketika lahan ini mengering, maka lahan basah berfungsi seperti bahan bakar yang mudah terbakar (Zalfa, 2023). Kebakaran ini sering kali berlangsung lama dan sulit dipadamkan karena api dapat tetap menyala di bawah permukaan tanah meskipun tampaknya sudah padam di permukaan.

Hingga pertengahan September 2020, lebih dari 103 hektare lahan telah terbakar, dan luas area ini diperkirakan terus meningkat. Secara keseluruhan, kebakaran hutan dan lahan di Kalimantan Selatan pada tahun tersebut mencapai hampir 350 hektare, dengan ratusan titik api terdeteksi di berbagai kawasan, baik di dalam maupun di luar hutan (Azzam, 2020). Berdasarkan data satelit Sipongi, distribusi titik api di wilayah tersebut tercatat dengan tingkat akurasi deteksi lebih dari 80% (Primajaya et al., 2020).

Menanggapi masalah ini, pemerintah Indonesia telah mengeluarkan berbagai kebijakan untuk mengendalikan kebakaran hutan dan lahan, termasuk Peraturan Pemerintah Nomor 4 Tahun 2001 tentang Pengendalian Kerusakan dan/atau Pencemaran Lingkungan Hidup yang Berkaitan dengan Kebakaran Hutan dan Lahan. Peraturan ini menegaskan bahwa kebakaran hutan dan lahan merupakan penyebab utama kerusakan lingkungan dan pencemaran udara, dan upaya pencegahan harus diutamakan. Namun, di lapangan, pelaksanaan peraturan ini masih menghadapi berbagai tantangan, termasuk keterbatasan dalam sistem deteksi dan pencegahan kebakaran yang cepat dan efektif.

Saat ini, metode deteksi kebakaran masih banyak mengandalkan teknik manual seperti patroli lapangan dan menara pengawas. Meskipun efektif dalam beberapa situasi, metode ini memiliki keterbatasan dalam jangkauan dan kecepatan deteksi. Penggunaan teknologi satelit untuk memantau hotspot (titik api) merupakan salah satu solusi yang sudah diterapkan, namun teknologi ini juga memiliki

keterbatasan dalam hal responsivitas dan ketepatan waktu dalam mendeteksi kebakaran yang sedang berkembang (Mazzeo et al., 2022).

Untuk menjawab tantangan ini, teknologi berbasis *Artificial Intelligence* (AI) menawarkan solusi yang lebih efektif dan efisien. Sistem ini memungkinkan deteksi dini terhadap tanda-tanda kebakaran melalui penggunaan sensor-sensor yang terhubung dengan algoritma AI untuk mendeteksi perubahan suhu, kelembaban, dan adanya asap di atmosfer. Ketika tanda-tanda awal kebakaran terdeteksi, sistem ini dapat memberikan peringatan dini kepada pihak berwenang untuk segera mengambil tindakan pencegahan. Selain itu, AI dapat diintegrasikan dengan sistem otomatis seperti *Automatic Watering System* yang akan segera mengaktifkan penyiraman untuk melembabkan tanah dan mencegah kebakaran lebih lanjut. Dengan pengembangan sistem berbasis AI, proses deteksi kebakaran dapat dilakukan lebih cepat, akurat, dan efisien. Teknologi ini juga memungkinkan pemantauan secara *real-time* melalui platform berbasis web, sehingga tindakan pencegahan dapat dilakukan lebih dini sebelum api menyebar lebih luas. AI juga memungkinkan analisis data historis untuk memprediksi area-area berisiko tinggi, yang membantu dalam perencanaan strategi pencegahan kebakaran yang lebih proaktif (Zhang et al., 2024).

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem deteksi dan pencegahan kebakaran hutan berbasis AI yang dirancang khusus untuk lahan gambut di Indonesia. Sistem ini tidak hanya meningkatkan akurasi deteksi dini, tetapi juga menyediakan mekanisme pencegahan otomatis yang dapat merespons secara langsung setelah risiko terdeteksi, sehingga membantu mengurangi dampak kebakaran hutan dan lahan gambut di masa mendatang.

## **B. Kebakaran Lahan Gambut**

### **1. Pengertian Hutan**

Hutan adalah salah satu komponen penting dari ekosistem global, yang berperan sebagai penyimpan karbon, pengatur iklim, dan habitat bagi berbagai spesies flora dan fauna. Undang-Undang Nomor 41 Tahun 1999 mendefinisikan hutan sebagai suatu kesatuan ekosistem yang terdiri dari hamparan lahan yang berisi sumber daya alam hayati, didominasi oleh pepohonan dalam persekutuan alam lingkungannya, yang tidak dapat dipisahkan satu sama lain. Definisi ini menekankan kompleksitas hutan sebagai ekosistem yang melibatkan interaksi antara tanah, vegetasi, fauna, dan komponen lingkungan lainnya. Unsur-unsur yang terkandung dalam definisi hutan mencakup:

- a. Lahan (Tanah Hutan): Hutan mencakup hamparan lahan yang luas, yang berfungsi sebagai dasar bagi kehidupan vegetasi dan fauna yang ada di dalamnya.
- b. Vegetasi (Flora dan Fauna): Hutan dihuni oleh berbagai jenis pohon, tumbuhan, dan satwa yang bersama-sama membentuk keanekaragaman hayati yang tinggi.
- c. Lingkungan: Lingkungan hutan terdiri dari iklim, tanah, air, dan elemen lain yang mendukung keberlanjutan ekosistem.
- d. Kebijakan Pemerintah: Penetapan hutan dan pengelolaannya diatur oleh kebijakan pemerintah untuk memastikan kelestarian dan fungsi ekologisnya.

Jenis-jenis hutan yang ada di Indonesia termasuk Hutan Hujan Tropis, Hutan Bakau, Hutan Mangrove, Hutan Sabana, dan Hutan Rawa, masing-masing dengan karakteristik dan fungsi ekologisnya yang unik (Indrajaya et al., 2022). Misalnya, Hutan Hujan Tropis dikenal karena keanekaragaman hayatinya yang sangat tinggi dan perannya dalam menyerap karbon dioksida dari atmosfer, sedangkan Hutan Mangrove berfungsi sebagai penghalang alami yang melindungi garis pantai dari erosi.

## **2. Pengertian Lahan dan Lahan Gambut**

Lahan didefinisikan sebagai bagian dari permukaan bumi yang memiliki sifat fisik, biologis, dan geologis yang unik dan bervariasi, serta digunakan untuk berbagai tujuan, termasuk pertanian, pemukiman, dan konservasi. Lahan adalah sumber daya yang sangat penting bagi kehidupan manusia, namun hanya sekitar 25% dari permukaan bumi yang dapat dihuni dan dimanfaatkan oleh manusia.

Salah satu jenis lahan yang penting adalah lahan gambut. Lahan gambut merupakan ekosistem yang terbentuk dari tumpukan bahan organik yang terdekomposisi selama ribuan tahun dan cenderung selalu berair. Lahan ini memiliki karakteristik yang sangat unik karena mampu menyimpan karbon dalam jumlah besar, tetapi juga rentan terhadap kebakaran jika mengalami kekeringan. Kekeringan pada lahan gambut dapat menyebabkan irreversible drying, di mana lahan kehilangan kemampuannya untuk menyerap air kembali, menjadikannya sangat mudah terbakar dan sulit dipadamkan (Hartanto & Makarim, 2020).

## **3. Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut**

Kebakaran hutan merupakan salah satu ancaman terbesar terhadap kelestarian hutan dan lahan gambut di Indonesia. Menurut SK. Menhut. No. 195/Kpts-II/1996, kebakaran hutan adalah suatu keadaan di mana hutan dilanda api, mengakibatkan kerusakan pada hutan dan sumber daya yang ada di dalamnya, serta menimbulkan kerugian ekonomi dan lingkungan.

Penyebab kebakaran hutan dan lahan gambut di Indonesia sangat beragam, mencakup faktor alami seperti musim kemarau yang berkepanjangan dan tindakan manusia seperti pembukaan lahan dengan metode pembakaran. Kebakaran ini memberikan dampak besar terhadap lingkungan, termasuk penurunan kualitas udara akibat asap, perubahan sifat fisik dan kimia tanah, hilangnya vegetasi,

serta berkurangnya keanekaragaman hayati.. Khususnya pada lahan gambut, kebakaran dapat mengakibatkan degradasi lingkungan yang parah, termasuk kerusakan siklus hidrologi, penurunan kualitas air, dan pelepasan emisi karbon yang tinggi, yang semuanya berkontribusi pada pemanasan global (Qamariyanti et al., 2023).

Dampak negatif lainnya adalah peningkatan risiko kesehatan masyarakat akibat paparan asap dan penurunan kualitas udara. Asap yang dihasilkan dari kebakaran hutan dan lahan gambut dapat menyebabkan gangguan pernapasan dan penyakit lainnya, terutama pada kelompok rentan seperti anak-anak dan lansia. Selain itu, kebakaran juga mengakibatkan kerugian ekonomi yang besar, baik dari segi kerusakan sumber daya alam maupun dampak negatif pada sektor pariwisata dan pertanian.

## **C. Pengembangan Teknologi Deteksi Kebakaran Hutan**

### **1. Teknologi Deteksi Kebakaran Hutan**

Deteksi dini adalah kunci dalam pencegahan kebakaran hutan. Teknologi deteksi kebakaran telah berkembang dari metode konvensional, seperti pengawasan manual dan penggunaan menara api, menjadi penggunaan teknologi modern seperti sensor, satelit, dan kamera pengawas. Namun, keterbatasan pada deteksi konvensional, terutama dalam hal kecepatan dan akurasi, mendorong pengembangan teknologi berbasis *Artificial Intelligence (AI)* yang lebih canggih dan responsif (Zhang et al., 2020).

### **2. Sistem Deteksi dan Pencegahan Kebakaran Berbasis Artificial Intelligence (AI)**

Kemajuan teknologi dalam beberapa dekade terakhir telah memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan sistem deteksi kebakaran yang lebih efektif. Salah satu inovasi terbaru adalah penggunaan *Artificial Intelligence (AI)* untuk mendeteksi dan mencegah kebakaran hutan, terutama di lahan gambut. Sistem deteksi berbasis *AI*

ini memungkinkan identifikasi dini terhadap potensi kebakaran melalui analisis data real-time dari berbagai sumber.

Sistem deteksi kebakaran berbasis *AI* menggunakan mikrokontroler Wemos D1 R32 yang terintegrasi dengan berbagai sensor, seperti sensor kelembaban tanah, sensor suhu, dan sensor gas. Sensor-sensor ini bertujuan untuk mengukur kondisi lingkungan secara real-time dan mendeteksi tanda-tanda awal kebakaran. Data yang dikumpulkan dianalisis menggunakan algoritma pembelajaran mesin (*machine learning*) yang mampu mengenali pola-pola tertentu yang menunjukkan adanya kebakaran, bahkan dalam kondisi cuaca buruk atau polusi asap yang tebal (Zhang et al., 2020).

Selain deteksi, sistem ini juga dilengkapi dengan mekanisme pencegahan, seperti pompa air yang dapat diaktifkan secara otomatis untuk memadamkan api ketika kebakaran terdeteksi. Data dari sensor juga dapat diakses melalui platform Arduino IDE, yang memungkinkan pemantauan jarak jauh oleh pihak terkait (Rahmat et al., 2021). Keunggulan sistem ini adalah kemampuannya dalam menganalisis data secara cepat dan akurat, sehingga tindakan pencegahan dapat diambil sebelum kebakaran meluas.

Sistem berbasis *AI* ini merupakan solusi inovatif yang menjanjikan dalam upaya pencegahan kebakaran hutan dan lahan gambut di Indonesia. Dengan kemampuannya untuk mendeteksi kebakaran pada tahap awal, sistem ini dapat membantu mengurangi kerugian ekologis dan ekonomis yang ditimbulkan oleh kebakaran hutan. Lebih jauh lagi, penerapan teknologi ini dapat diintegrasikan dengan kebijakan pengelolaan hutan yang berkelanjutan untuk melindungi hutan dan lahan gambut dari ancaman kebakaran yang terus meningkat.

**D. Prosedur Pengembangan Teknologi Pencegahan Kebakaran**

**1. Alat dan Bahan**

Penelitian ini menggunakan berbagai alat dan bahan yang dirangkum dalam Tabel 1 berikut:

Tabel 1: Alat dan Bahan

No	Alat-alat	No	Alat-alat
1.	Wemos D1 R32	10.	Sensor Infrared 5 channel
2.	Soil Moisture	11.	Kabel Jumper Female to Female
3.	Relay	12.	Kabel Jumper Male to Female
4.	Pompa Air	13.	Power Bank
5.	Bread Board	14.	Aki
6.	Modul Sensor Temperatur DS18B20	15.	Buzzer
7.	Sensor Gas MQ-7	16.	Box Project
8.	Sensor DHT22	17.	Capit Buaya
9.	Kabel Jumper Male to Male		

Alat-alat Indikator Dini Kebakaran Dengan *Automatic Watering System* Berbasis *Microcontroller* (Wemos D1 R32)

**a. Sensor soil Moisture/kelembaban tanah**

Soil Moisture Sensor adalah sebuah jenis sensor yang berfungsi untuk mengukur kelembaban tanah, prinsip operasinya adalah mendeteksi kelembaban di sekitar tanah, meskipun secara teknis sensor ini tidak dapat mendeteksi kelembaban tanah.

**b. Modul Sensor Temperatur DS18B20**

Sensor DS18B20 merupakan sensor pengukur temperatur atau suhu yang dapat dihubungkan dengan mikrokontroler. Sensor ini memiliki keluaran digital sehingga tidak membutuhkan rangkaian ADC, tingkat

keakurasian serta kecepatan dalam mengukur suhu memiliki kestabilan yang baik.

**c. Sensor Gas Karbon Monoksida**

Sensor MQ-7 merupakan sensor gas yang digunakan untuk mendeteksi gas karbon monoksida (CO) dalam kehidupan sehari-hari, industri, atau mobil. Sensor gas MQ7 ini mempunyai kelebihan sensitivitas yang tinggi terhadap karbon monoksida (CO), stabil, dan usia pakai yang lama. Sensor ini biasanya digunakan untuk mengukur kadar CO di udara.

**d. Sensor DHT22**

Sensor DHT11 adalah module sensor yang berfungsi untuk mensensing objek suhu dan kelembaban yang memiliki output tegangan analog yang dapat diolah lebih lanjut menggunakan mikrokontroler. Module sensor ini tergolong kedalam elemen resistif seperti perangkat pengukur suhu seperti contohnya yaitu NTC.

**e. Relay**

Relay memiliki fungsi sebagai pengontrol beban seperti saklar, namun relay bekerja sebagai saklar otomatis yang digerakkan oleh gaya elektromagnetik yang dihasilkan oleh suatu kumparan. Fungsi lain dari relay adalah untuk mengontrol arus besar dengan arus yang kecil.

**f. Bread Board**

Breadboard adalah papan yang digunakan untuk merancang sirkuit elektronik sederhana. Breadboard dibuat prototipe atau diuji tanpa penyolderan. Salah satu keuntungan menggunakan breadboard adalah tidak merusak komponen yang dirakit. Komponen-komponen ini juga dapat dipasang kembali ke sirkuit yang lain.

**g. Wemos D1 R32**

Wemos ESP32 Uno D1 R32 merupakan papan pengembangan berbasis mikrokontroler ESP32 yang dirancang dengan bentuk layout/susunan pin

menyerupai Arduino Uno. Wemos ESP32 dikembangkan oleh perusahaan Espressif Systems yang mana dapat diprogram menggunakan software IDE Arduino.

**h. Buzzer**

Buzzer merupakan komponen yang merubah besaran elektrik menjadi besaran suara. Penggunaan bazzzer untuk anatarmuka mikrokontroler sama prinsipnya dengan LED. Yang diperlukan hanya menghubungkan salah satu PIN dari mikrokontroler ke kaki positif buzer, dan kaki satunya ke GND rangkaian (Husin, 2021).

**i. Jepit Buaya**

Jepit Buaya Komponen elektronik yang berfungsi sebagai konektor atau penghubung antar perangkat elektronika, kabel merah sebagai penanda positif dan kabel hitam penanda negative.

**j. Kabel Jumper**

Kabel jumper adalah kabel elektrik yang memiliki pin konektor di setiap ujungnya dan memungkinkanmu untuk menghubungkan dua komponen yang melibatkan Arduino tanpa memerlukan solder, Konektor yang ada pada ujung kabel terdiri atas dua jenis yaitu konektor jantan (*male connector*) dan konektor betina (*female connector*). Konektor jantan fungsinya untuk menusuk dan konektor betina fungsinya untuk ditusuk.

**k. Software Arduino IDE**

Arduino IDE (*Integrate Development Enviroment*) ialah software yang digunakan untuk membuat, mengedit suatu kode program, memverifikasi, dan mengunggah kode program ke arduino, yang dapat diakses juga oleh wemos.

**l. Sensor Infrared 5 channel**

Sensor infrared flame sensor 5 channel adalah suatu sensor yang mampu mendeteksi api dan mengubah representasinya menjadi besaran analog.

## 2. Rancangan dan Prosedur Pembuatan Teknologi Deteksi Teknologi Pencegahan Kebakaran Hutan

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah Penelitian dan Pengembangan (Research and Development atau R&D). Metode penelitian R&D digunakan untuk mengembangkan produk baru atau memperbaiki produk yang ada, serta menguji validitas, kepraktisan, dan efektivitas produk tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan sistem deteksi kebakaran hutan berbasis *Artificial Intelligence* yang valid, praktis, dan efektif dalam pencegahan kebakaran lahan gambut (Husin, 2021). Sistem deteksi kebakaran hutan berbasis *AI* ini mengandalkan pengukuran kelembapan tanah, suhu, dan keberadaan asap. Data dari sensor-sensor tersebut diolah oleh *AI* untuk menentukan tindakan yang harus dilakukan, seperti mengaktifkan relay yang mengendalikan pompa air untuk membasahi tanah. Data dikumpulkan melalui percobaan di laboratorium dan uji lapangan.

## 3. Prosedur Pengembangan dan Pengujian

### a. Proses Pembuatan:

- 1) Menyiapkan semua alat dan bahan yang diperlukan.
- 2) Melakukan wiring sesuai dengan gambar skematik yang telah dirancang.
- 3) Menggunakan software Arduino IDE untuk memprogram sistem.
- 4) Menulis dan mengunggah kode program ke mikrokontroler Wemos D1 R32.
- 5) Melakukan pengujian awal untuk memastikan sistem berfungsi dengan baik.

### b. Cara Kerja Sistem:

- 1) Mikrokontroler membaca nilai analog dari sensor-sensor yang terpasang.
- 2) Berdasarkan nilai tersebut, program menentukan apakah kondisi lingkungan memerlukan tindakan pencegahan kebakaran.

- a) Jika nilai sensor berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan, sistem tidak akan melakukan tindakan apapun.
- b) Jika nilai sensor berada di atas ambang batas, relay akan diaktifkan untuk menghidupkan pompa air, sehingga tanah disiram air untuk mencegah kebakaran.

**c. Prosedur Penelitian:**

- 1) Pemilihan Lokasi: Lokasi penelitian adalah lahan gambut di Kabupaten Banjar, Kalimantan Selatan, dengan koordinat Lat-3.399954, Long 114.679197.
- 2) Pengumpulan Data: Pengumpulan data dilakukan dengan mengukur suhu udara dan tanah, kelembaban tanah, dan keberadaan asap serta api pada kedalaman 30 cm di lahan gambut.

**4. Pengolahan dan Analisis Data**

**a. Tahapan Penelitian:**

- 1) Studi Literatur: Mengumpulkan dan mempelajari materi dari jurnal, buku, dan sumber lain yang relevan dengan penelitian.
- 2) Studi Komponen: Mengkaji mikrokontroler dan sensor untuk memilih komponen yang tepat untuk sistem.
- 3) Perancangan Hardware: Merancang rangkaian perangkat keras untuk prototipe sistem.
- 4) Perancangan Software: Mengembangkan program (software) menggunakan bahasa pemrograman C untuk diunggah ke mikrokontroler.

**b. Teknik Pengembangan:**

- 1) Percobaan Miniatur: Pengujian awal dilakukan dengan model skala kecil untuk menguji fungsionalitas sistem.
- 2) Uji Lapangan: Melakukan pengujian langsung di lapangan untuk menguji efektivitas sistem dalam kondisi nyata.

- 3) Analisis dan Evaluasi: Menganalisis hasil pengujian, mengevaluasi kinerja sensor dan komponen, serta melakukan perbaikan jika diperlukan.

## E. Merancang Teknologi Deteksi Kebakaran

### 1. Rancangan

Pada tahap ini di jelaskan alur perancangan, perakitan sistem dan di lakukan pengujian data sebagai hasil dari pengujian. Dalam pengujian ini dilakukan 2 metode, yaitu secara miniatur dan secara langsung di lahan gambut, yang terdiri dari uji coba beberapa variabel-variabel yang akan diambil oleh 5 sensor yaitu api, gas CO, suhu tanah, suhu udara dan kelembaban tanah. Data tersebut akan ditampilkan pada *smartphone*, laptop dan komputer yang terhubung melalui website yang telah disediakan setelah di *subscribe*. Lalu setelah melakukan pengujian akan dilakukan evaluasi dari kekurangan dan kelebihan sistem yang telah dibuat melalui analisa dan pembahasan. Berikut adalah rancangan penelitian ini terdiri dari beberapa tahap utama.

Studi literatur dilakukan untuk memahami teknologi deteksi kebakaran yang sudah ada, serta tantangan dan kebutuhan khusus dalam pencegahan kebakaran hutan di lahan gambut.

Kebutuhan sistem diidentifikasi berdasarkan karakteristik lahan gambut yang mudah terbakar saat kering, sehingga diperlukan sistem yang dapat mendeteksi perubahan kelembaban tanah, suhu, api dan keberadaan asap atau gas yang terkait dengan kebakaran.

#### a. Perancangan Sistem:

Sistem dirancang untuk dapat mengumpulkan data lingkungan secara real-time melalui sensor-sensor yang kontrol oleh mikrokontroler berupa Wemos D1 R32.

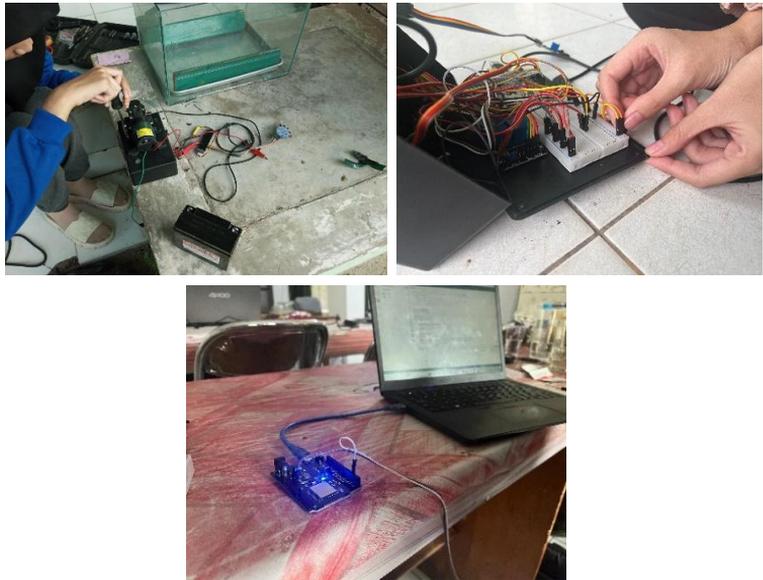
Data yang diperoleh akan di proses oleh wemos untuk menentukan tindakan pencegahan, seperti mengaktifkan pompa air jika kondisi mendekati potensi kebakaran.

b. Pengembangan dan Uji Coba *Prototipe*:

Prototipe awal dikembangkan dan diuji dalam skala kecil (miniatur) di sekolah. Setelah uji coba awal, sistem diuji secara langsung di lahan gambut untuk mengevaluasi kinerjanya dalam kondisi nyata.

## 2. Rancangan Perangkat

Perangkat sistem berupa perangkat keras dan perangkat lunak, perangkat keras yang dikembangkan terdiri dari beberapa komponen utama, yang masing-masing memiliki fungsi spesifik dalam mendeteksi dan mencegah kebakaran hutan yaitu mikrokontroler sebagai kontrol dari sistem, yang kemudian di dukung oleh 5 sensor untuk mendeteksi ketika lahan berpotensi terbakar, akan dijelaskan secara detail skematik dan cara perancangan.

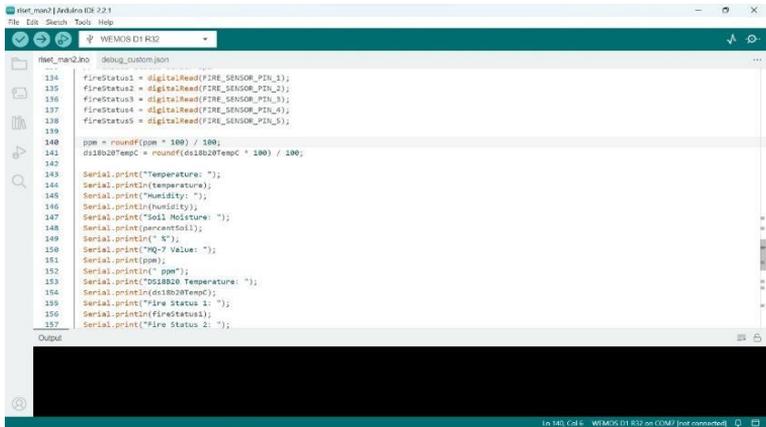


Gambar 1. Proses Perancangan Perangkat

Penjelasan proses perancangan antara lain:

- a. Wemos D1 R32 dan Breadboard:
  - 1) Tempatkan Wemos D1 R32 pada breadboard.
  - 2) Pastikan semua sensor memiliki akses pin digital atau analog yang sesuai pada Wemos D1 R32.
- b. Pengkabelan Sensor:
  - 1) Sensor Infrared 5 Channel: Setiap sensor inframerah perlu dihubungkan ke pin digital Wemos D1 R32. Hubungkan VCC (biasanya 5V), GND, dan pin sinyal dari sensor ke pin digital di mikrokontroler.
  - 2) Sensor MQ-7: Hubungkan VCC ke 5V atau 3.3V, GND ke ground, dan pin analog keluarannya ke salah satu pin analog di Wemos D1 R32.
  - 3) Soil Moisture Sensor: Hubungkan pin VCC ke 3.3V atau 5V, GND ke ground, dan pin sinyal ke salah satu pin analog atau digital.
  - 4) DS18B20: Hubungkan VCC ke 3.3V, GND ke ground, dan pin data ke salah satu pin digital, misalnya D5. Pastikan menambahkan resistor pull-up 4.7k ohm antara pin data dan VCC.
  - 5) DHT22: Hubungkan VCC ke 3.3V atau 5V, GND ke ground, dan pin data ke pin digital, misalnya D6.

Semua komponen akan dirakit sesuai dengan skema, kemudian dilakukan pengujian perangkat keras untuk memastikan semua terhubung dengan baik dan tidak ada kesalahan dalam penyambungan. Berikut perangkat lunak yaitu pemrograman di arduino IDE:



Gambar 2. Perangkat Lunak Pemrograman di Arduino IDE

1. Lingkungan Pengembangan:
  - a. Install Arduino IDE atau PlatformIO di Visual Studio Code.
  - b. Install pustaka yang diperlukan untuk sensor-sensor tersebut. Pustaka yang umumnya diperlukan antara lain:
    - 1) DHT untuk DHT22
    - 2) DallasTemperature dan OneWire untuk DS18B20
    - 3) MQUnifieddsensor untuk sensor MQ-7
    - 4) SimpleTimer untuk pengelolaan waktu non-blocking
2. Pemrograman Wemos D1 R32:
 

**Pengaturan Sensor:**

  - a. Deklarasikan pin dan inialisasi setiap sensor di dalam fungsi setup di Arduino IDE.
  - b. Buat fungsi untuk membaca data dari setiap sensor dan simpan data tersebut dalam variabel.

**Pemrosesan Data:**

  - a. Program Wemos D1 R32 untuk memantau sensor secara berkala. Misalnya, bisa menggunakan timer atau sistem interrupt untuk membaca nilai dari setiap sensor.
  - b. Tentukan ambang batas yang dapat mengindikasikan kebakaran. Misalnya, jika suhu DS18B20 atau DHT22 naik drastis, jika ada deteksi inframerah api, atau jika

konsentrasi karbon monoksida dari MQ-7 meningkat, maka sistem mendeteksi kemungkinan kebakaran.

**Pengiriman Data atau Peringatan:**

Wemos D1 R32 memiliki kemampuan WiFi, sehingga bisa mengirim data ke server (misalnya melalui HTTP atau MQTT) atau mengirim peringatan langsung melalui email/SMS ketika kebakaran terdeteksi.

**Integrasi dengan Platform IoT:**

Menggunakan platform IoT seperti ThingSpeak atau Blynk untuk memantau data sensor secara *real-time*.

**3. Pengujian Sistem**

a. Tahap Pengembangan *Prototipe*

*Prototipe* dikembangkan dengan merakit semua komponen sesuai desain dan memprogram mikrokontroler menggunakan Arduino IDE. Pengujian awal dilakukan di laboratorium menggunakan setup miniatur untuk memastikan semua komponen bekerja sesuai rencana sebelum implementasi di lapangan.

b. Hasil Uji Coba Miniatur di Sekolah

1) Prosedur Uji Coba Miniatur

a) Setup: Sistem diatur dalam setup miniatur di laboratorium dengan simulasi kondisi lahan gambut. Mikrokontroler Wemos D1 R32 terhubung dengan sensor kelembaban, suhu, karbon monoksida, dan infrared, serta pompa air miniatur dan alarm.

b) Pengambilan Data: Pengukuran dilakukan setiap 10 menit selama 30 menit untuk mengevaluasi respons sistem terhadap perubahan kondisi lingkungan yang disimulasikan.

Tabel 2. Hasil Uji Coba Miniatur

Waktu	Kelembaban Tanah (%)	Kelembaban Udara (%)	Suhu Tanah (°C)	Suhu Udara (°C)	Gas Karbon Monoksida (ppm)	Deteksi Api	Respons Sistem
17:00	50	60	30	29	9	Tidak Ada	Pemantauan berlanjut
17:10	45	58	32	31	11	Tidak Ada	Aktivasi pompa air
17:20	42	55	34	33	13	Ada	Aktivasi pompa air dan alarm

**Hasil Uji Coba Miniatur:**

- Pada jam 17:00, kelembaban tanah berada di 50%, dan kelembaban udara berada di 60%. Sistem mendeteksi kondisi normal tanpa ancaman bahaya, sehingga hanya melakukan pemantauan rutin.
- Pada jam 17:10, kelembaban tanah menurun menjadi 45% dan kelembaban udara turun sedikit menjadi 58%, dengan peningkatan suhu udara dan tanah. Sistem secara otomatis mengaktifkan pompa air untuk mengatasi penurunan kelembaban tanah, meskipun tidak ada deteksi api.
- Pada jam 17:20, kelembaban tanah turun lebih lanjut menjadi 42%, dan kelembaban udara juga turun menjadi 55%. Dengan suhu yang lebih tinggi dan peningkatan gas karbon monoksida, sistem mendeteksi adanya api. Akibatnya, sistem mengaktifkan pompa air dan alarm untuk mencegah kondisi berbahaya.

- d. Aktivasi Pompa Air: Ketika sensor mendeteksi bahwa kelembaban tanah turun di bawah ambang batas, sistem secara otomatis mengaktifkan relay, yang kemudian menyalakan pompa air. Waktu respons dari deteksi hingga aktivasi pompa air kurang dari 10 detik.
- e. Pemantauan *Real-Time*: Data yang dikumpulkan dapat diakses dan dipantau secara *real-time* melalui Arduino IDE, memungkinkan pengawasan jarak jauh dan pengambilan keputusan yang cepat



Gambar 3. Uji Coba Miniatur



© 2024 Tim Riset, MAN 2

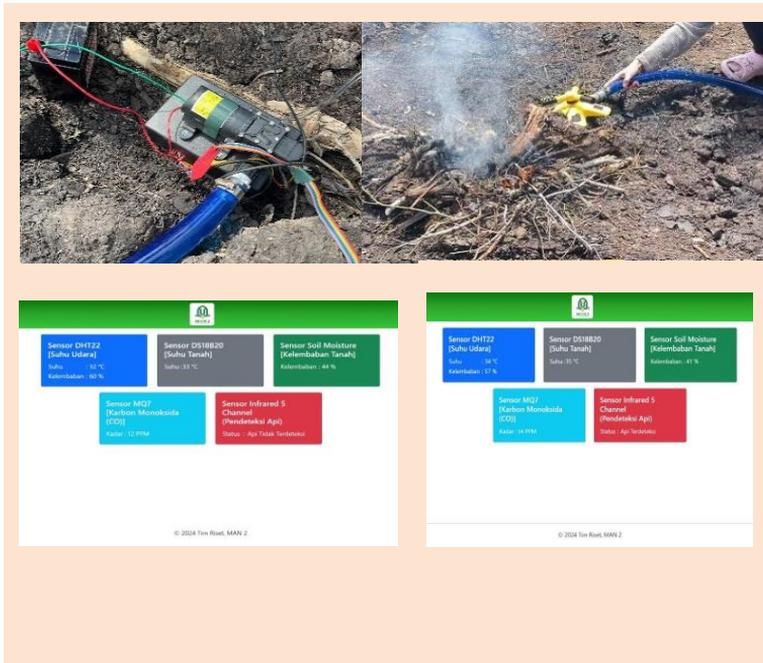


© 2024 Tim Riset, MAN 2

## C. Hasil Uji Coba Lapangan di Lahan Gambut

Prosedur Uji Coba Lapangan:

1. Setup: Sistem dipasang di lahan gambut dengan luas 100 meter persegi di Kabupaten Banjar, Kalimantan Selatan. Sensor ditempatkan pada titik-titik strategis untuk memantau kondisi lingkungan. Sistem ini terhubung dengan pompa air berkapasitas besar dan alarm lapangan untuk simulasi respons terhadap kondisi kebakaran nyata.
2. Pengambilan Data: Data dikumpulkan setiap 10 menit dari jam 10.00 hingga 11.30, mencatat perubahan kelembaban tanah, suhu tanah dan udara, kadar CO, dan deteksi api, serta respons sistem terhadap kondisi tersebut.



Gambar 4. Uji Coba di Lahan Gambut

Tabel 3. Hasil Uji Coba Lapangan

Waktu	Kelembaban Tanah (%)	Kelembaban Udara (%)	Suhu Tanah (°C)	Suhu Udara (°C)	Gas Karbon Monoksida (ppm)	Deteksi Api	Ambang Batas	Respons Sistem
10:00	44	60	33	32	12	Tidak Adanya	CO > 12 ppm	Pompa air diaktifkan
10:10	43	59	34	33	13	Tidak Adanya	Kelembaban < 45%	Pompa air tetap diaktifkan
10:20	42	58	34	34	13	Tidak Adanya	Suhu Tanah > 32°C	Aktivasi alarm peringatan
10:30	41	57	35	34	14	Adanya	CO > 12 ppm	Aktivasi pompa air dan alarm
10:40	40	56	36	35	15	Adanya	Suhu Tanah > 32°C	Sistem pemadaman diaktifkan

<b>10:50</b>	39	55	36	36	16	Ada	Kelembaban < 45%	Peningkatan sistem pemadaman
<b>11:00</b>	38	54	36	36	17	Ada	Suhu Tanah > 32°C	Pemadaman berlanjut
<b>11:10</b>	37	53	37	36	17	Ada	CO > 12 ppm	Sistem pemadaman maksimal
<b>11:20</b>	36	52	37	37	18	Ada	Kelembaban < 45%	Intensitas pemadaman ditingkatkan
<b>11:30</b>	36	51	37	37	18	Ada	CO > 12 ppm	Pemantauan dan pemadaman berlanjut

### **Hasil Uji Coba Lapangan:**

- a. Deteksi Awal dan Respons Pencegahan: Pada jam 10:00, sistem mendeteksi kadar CO sebesar 12 ppm dan kelembaban tanah di 44%, mendekati ambang batas kritis. Sistem mengaktifkan pompa air sebagai langkah preventif untuk menjaga kelembaban tanah.
- b. Peningkatan Respons Terhadap Kondisi Kritis: Pada jam 10:30, sistem mendeteksi api pertama kali dengan kadar CO 14 ppm, suhu tanah 35°C, dan kelembaban turun menjadi 41%. Sistem merespons dengan aktivasi pompa air dan alarm, menunjukkan respons yang efektif dalam mencegah kebakaran lebih lanjut.
- c. Adaptasi Sistem Terhadap Kondisi Lingkungan: Dari jam 10:50 hingga 11:30, sistem secara otomatis menyesuaikan intensitas pemadaman berdasarkan parameter lingkungan yang semakin kritis, seperti penurunan kelembaban dan peningkatan suhu serta kadar CO. Pada jam 11:00, sistem melakukan pemadaman maksimal dengan intensitas tinggi, menandakan adaptabilitas tinggi terhadap kondisi lingkungan yang berbahaya.

### **F. Keunggulan dan Keterbatasan Sistem Deteksi dan Pencegahan Kebakaran Hutan Berbasis *Artificial Intelligence***

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh keunggulan dari Sistem Deteksi dan Pencegahan Kebakaran Hutan Berbasis yaitu:

1. Pemantauan dan *respons real-time* yaitu sistem memungkinkan pemantauan *real-time* terhadap kondisi lingkungan dan respons otomatis yang cepat, yang merupakan peningkatan signifikan dibandingkan metode manual seperti patroli lapangan dan menara pengawas yang memerlukan intervensi manusia. Hal ini memungkinkan tindakan pencegahan yang lebih cepat dan lebih efektif, yang dapat mencegah penyebaran kebakaran secara lebih luas.
2. Adaptabilitas dan skalabilitas yaitu kemampuan sistem untuk beradaptasi dengan perubahan kondisi lingkungan dan menyesuaikan intensitas respons membuatnya cocok untuk diterapkan dalam skala yang lebih besar di lahan

gambut Indonesia. Dengan penggunaan teknologi *AI*, sistem dapat diatur untuk terus belajar dan meningkatkan efektivitasnya dari waktu ke waktu.

Keterbatasan penelitian yang telah dilakukan tentang Sistem Deteksi dan Pencegahan Kebakaran Hutan Berbasis yaitu:

1. Ketergantungan pada infrastruktur jaringan, dimana sistem bergantung pada konektivitas internet yang stabil untuk pengiriman data dan pemantauan *real-time*, yang dapat menjadi tantangan di daerah terpencil dengan akses jaringan terbatas. Ini dapat mengurangi efektivitas sistem di area dengan infrastruktur komunikasi yang kurang memadai.
2. Jangkauan deteksi terbatas, untuk meningkatkan cakupan dan akurasi deteksi di area yang lebih besar, diperlukan lebih banyak sensor dengan jangkauan lebih luas dan sensitivitas lebih tinggi. Saat ini, jangkauan deteksi sistem terbatas pada area yang cukup kecil, yang memerlukan penambahan sensor untuk aplikasi di lahan gambut yang luas.

## **G. Penutup**

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem deteksi dan pencegahan kebakaran berbasis *Artificial Intelligence (AI)* efektif dalam memantau dan merespons kondisi kebakaran pada lahan gambut. Sistem ini menggunakan sensor untuk mendeteksi parameter kritis seperti kelembaban tanah, suhu udara dan tanah, serta kadar karbon monoksida, yang memungkinkan deteksi dini dan respons otomatis melalui aktivasi pompa air dan alarm.

Sistem ini mampu merespons kondisi lingkungan yang berubah dengan cepat, seperti penurunan kelembaban tanah atau peningkatan kadar CO, dengan mengaktifkan tindakan pencegahan seperti penyiraman air dan peringatan alarm. Hal ini menunjukkan adaptabilitas yang tinggi dalam mengantisipasi kondisi yang berpotensi menyebabkan kebakaran, sesuai dengan ambang batas yang ditetapkan.

Keunggulan utama dari sistem ini adalah pemantauan real-time dan respons otomatis yang lebih cepat dan efisien dibandingkan metode manual tradisional. Sistem ini juga mampu menyesuaikan intensitas respons sesuai dengan kondisi lingkungan, yang sangat penting dalam mitigasi kebakaran di lahan gambut yang luas.

Meskipun efektif, sistem ini masih bergantung pada koneksi internet yang stabil untuk pengiriman data dan pemantauan jarak jauh, yang dapat menjadi kendala di daerah terpencil. Selain itu, jangkauan deteksi sistem masih terbatas pada area kecil, yang memerlukan peningkatan cakupan sensor untuk melindungi area yang lebih luas.

## H. Daftar Pustaka

- Anhar, I. P., Mardiana, R., & Sita, R. (2022). Dampak Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut terhadap Manusia dan Lingkungan Hidup (Studi Kasus: Desa Bunsur, Kecamatan Sungai Apit, Kabupaten Siak, Provinsi Riau). *Jurnal Sains Komunikasi Dan Pengembangan Masyarakat [JSKPM]*, 6(1), 75-85.
- Azzam, A. 2020. "BPBD Kalimantan Selatan Mencatat Hingga September 2020 Kebakaran Hutan Dan Lahan Mencapai 103,12 Hektare." FOTO. Retrieved December 22, 2020 (<https://foto.bisnis.com/view/20200915/1292007/bpbd-kalimantan-selatanmencatat-hingga-september-2020-sebanyak-10312-hektare-hutan-dan-lahanterbakar>).
- Bordbar, H., Alinejad, F., Conley, K., Ala-Nissila, T., Hostikka, S., 2022. Flame detection by heat from the infrared spectrum: Optimization and sensitivity analysis. *Fire Saf. J.* 133, 103673–103673.  
<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2022.103673>
- Dadap, N.C., Cobb, A.R., Hoyt, A.M., Harvey, C.F., Feldman, A.F., Im, E.S., Konings, 2022. Climate change-induced peatland drying in Southeast Asia. *Environ. Res. Lett.* 17,

- 074026-074026. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac7969>
- Dharma, A.B., Sujianto, S., Yustina, Y., Yuliani, F., 2024. Forest Fire Disaster Mitigation Through Social Policy Implementation in Peat Ecosystem Management. *Khazanah Sos.* 6, 260–274. <https://doi.org/10.15575/ks.v6i2.34897>
- Fatkhullah, M., Mulyani, I., Imawan, B., 2021. Strategi Pengembangan Masyarakat Petani Lahan Gambut melalui Program Tanggung Jawab Sosial Perusahaan: Analisis Pendekatan Penghidupan Berkelanjutan. *J. Soc. Dev. Stud.* 2, 15–29. <https://doi.org/10.22146/jsds.2186>
- Hu, Y., Rein, G., 2022. Development of gas signatures of smouldering peat wildfire from emission factors. *Int. J. Wildland Fire* 31, 1014–1032. <https://doi.org/10.1071/WF21093>
- Indrajaya, Y., Yuwati, T.W., Lestari, S., 2022. Land | Free Full-Text | Tropical Forest Landscape Restoration in Indonesia: A Review [WWW Document]. URL <https://www.mdpi.com/2073-445X/11/3/328> (accessed 9.5.24).
- Josip, B., Hrvoje, G., Kresimir, V., Josip, J., 2022. Obtaining Infrared Thermal Camera Sensor Calibration Data for Implementation in FireBot Autonomous Fire Protection Robot System. *Appl. Sci.* 12, 11657–11657. <https://doi.org/10.3390/app122211657>
- Kadir, E.A., Rahim, S.K.A., Rosa, S.L., 2019. Multi-Sensor System for Land and Forest Fire Detection Application in Peatland Area. *Indones. J. Electr. Eng. Inform. IJEEI* 7, 789–799. <https://doi.org/10.52549/ijeei.v7i4.1604>
- Link, N.T., McLaughlin, D.L., Stewart, R.D., Strahm, B.D., Varner, J.M., Word, C.S., Wurster, F.C., 2023. Hydrologic-based modelling of burn depth potentials in degraded peat soils. *Hydrol. Process.* 37, e14808. <https://doi.org/10.1002/hyp.14808>

- Lu, Li, Aduwati, S., Nor, K., Noordin, Alyani, I., 2023. Modeling of Evaporation Rate for Peatland Fire Prevention Using Internet of Things (IoT) System. *Fire* 6, 272. <https://doi.org/10.3390/fire6070272>
- Mazzeo, G., De Santis, F., Falconieri, Alfredo, 2022. Remote Sensing | Free Full-Text | Integrated Satellite System for Fire Detection and Prioritization [WWW Document]. URL <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/2/335> (accessed 9.5.24).
- Mubarak, H., Ningrum, P., Toyeb, M., Setiawan, D., Lestari, S.S., Putri, R.N., 2023. Sosialisasi Cara Penggunaan Apar (Alat Pemadam Api Ringan) Sebagai Bagian Dari Edukasi Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (K3). *JDISTIRA - J. Pengabd. Inov. Dan Teknol. Kpd. Masy.* 3, 55–69. <https://doi.org/10.58794/jdt.v3i1.456>
- Novitasari, N., Nurfansyah, N., Effendi, R., Rusdiansyah, R., Nailia, N., Ramadhani, M.A., 2024. Analysis of Drought Index and Soil Infiltration to Control Fire Risk in Tropical Peatland Forest - IOPscience, in: *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 012011. IOP Publishing., p. 1.
- Nomor, P. P. R. I. (4). Tahun 2001 tentang Pengendalian Kerusakan dan atau Pencemaran Lingkungan Hidup. *Gubernur Kalimantan Selatan. Jakarta.*
- Primajaya, A., Sari, B. N., and Khusaeri, A. 2020. “Prediksi Potensi Kebakaran Hutan Dengan Algoritma Klasifikasi C4.5 Studi Kasus Provinsi Kalimantan Barat.” *Jurnal Edukasi Dan Penelitian Informatika (JEPIN)* 6(2):188. doi: 10.26418/jp.v6i2.37834.
- Rezaeifam, S., Ergen, E., Günaydın, H.M., 2023. Fire emergency response systems information requirements’ data model for situational awareness of responders: A goal-directed task analysis. *J. Build. Eng.* 63, 105531. <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.105531>
- Qamariyanti, Y., Usman, R., & Rahmawati, D. (2023). Pencegahan dan Penanggulangan Kebakaran Lahan

- Gambut dan Hutan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(1), 132-142.
- Zalfa', A.P., 2023. Analisis Implementasi Kebijakan Restorasi Gambut Di Taman Hutan Raya Orang Kayo Hitam Provinsi Jambi [WWW Document]. URL <http://digilib.unila.ac.id/73542/> (accessed 9.5.24).
- Zhang, L., Shi, C., Zhang, F., 2024. Predicting Forest Fire Area Growth Rate Using an Ensemble Algorithm. *Forests* 15, 1493. <https://doi.org/10.3390/f15091493>

## **BAB IV**

# **LULUR CINGKARUK KHAS BANJAR: INOVASI GREEN COSMETICS BERBASIS BUAH PEDADA (*SONNERATIA CASEOLARIS*)**

**Hj. Rahmaniar Emilian Noor, S.Pd**

**Mohamad Nor Aufa, M.Pd.**

**Nabila Putri**

**Siti Nafisah**

### **A. Pendahuluan**

Kesadaran masyarakat tentang bahaya bahan kimia dalam kosmetik komersial semakin meningkat. Banyak laporan menunjukkan efek samping negatif dari bahan seperti merkuri, hidrokuinon, asam retinoat, dan resorsinol. Bahan-bahan ini sering digunakan dalam produk pemutihan dan perawatan kulit. Paparan jangka panjang dapat menyebabkan masalah kesehatan, dari iritasi kulit hingga peningkatan risiko kanker. meningkat (Abed dkk., 2024). Kekhawatiran semacam itu mendorong individu untuk beralih ke alternatif kosmetik yang lebih aman dan berasal dari alam. Bersamaan dengan itu, ada tren global yang sedang berkembang dan mengedepankan produk ramah lingkungan, yang biasa disebut sebagai *green product*, yang memprioritaskan keamanan untuk kesehatan manusia. Barang-barang ini diformulasikan dari bahan alami dan diproses dengan komitmen untuk meminimalkan dampak lingkungan (Goswami, 2024).

Indonesia, negara yang ditandai dengan keanekaragaman hayati yang kaya, memiliki potensi yang signifikan untuk pengembangan produk kosmetik yang berasal dari bahan-bahan alami. Tradisi perawatan kulit yang sudah lama ada di Indonesia adalah pemanfaatan lulur. Lulur berfungsi sebagai teknik perawatan kulit yang digunakan untuk menghilangkan sel-sel kulit mati, kotoran, dan sebum berlebih, menghasilkan kulit yang lebih halus, lebih kencang, dan lebih bercahaya. Popularitas lulur melampaui masyarakat sekarang, karena

mereka sangat tertanam dalam praktik budaya berbagai daerah, termasuk Kalimantan Selatan. Di daerah ini, lulur cingkaruk khas orang Banjar telah menjadi aspek integral dari warisan budaya mereka. Penggabungan bahan-bahan alami dalam lulur ini sesuai dengan tren yang berlaku yang mendukung kosmetik alami, sehingga menciptakan jalan untuk pengenalan lulur ke pasar yang lebih luas (Chaudhari, 2024).

Di antara sumber daya lokal dengan potensi besar untuk formulasi lulur cingkaruk adalah buah pepada (*Sonneratia caseolaris*). Buah pedada, spesies bakau yang tumbuh subur di sepanjang wilayah pesisir, dikenal karena konsentrasi antioksidan, vitamin, dan mineralnya yang tinggi (Damayanti dkk., 2024). Secara tradisional, populasi lokal telah menggunakan buah pedada untuk aplikasi yang beragam; Namun, integrasi mereka ke dalam sektor kosmetik tetap sangat terbatas. Sifat antioksidan pada buah pedada memungkinkan mereka untuk memerangi radikal bebas, sehingga membantu dalam pencegahan penuaan kulit dini. Selain itu, vitamin dan mineral yang terkandung dalam buah ini berkontribusi pada hidrasi kulit dan meningkatkan elastisitas, menawarkan keuntungan signifikan untuk perawatan kulit (Petkova - Parlapanska dkk., 2024)

Meskipun buah pedada memiliki potensi besar, belum banyak penelitian tentang penggunaannya dalam kosmetik. Penelitian ini bertujuan untuk membuat lulur cingkaruk khas Banjar dengan menggunakan buah pedada sebagai bahan utama. Tujuan utamanya adalah untuk menghasilkan produk perawatan kulit alami yang inovatif dan memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat lokal melalui pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan. Produk ini diharapkan dapat menarik konsumen yang peduli dengan kesehatan kulit dan lingkungan. Selain itu, lulur ini juga diharapkan dapat membantu melestarikan budaya Banjar dan meningkatkan daya jual lulur di pasar kosmetik modern. (Hassan dkk., 2024).

Sehubungan dengan manfaat bagi kesehatan kulit, kemajuan produk yang diformulasikan dari bahan alami seperti

buah pedada juga telah menghasilkan hasil yang menguntungkan mengenai keberlanjutan lingkungan. Pemanfaatan bahan-bahan yang bersumber secara regional, ditambah dengan berkurangnya ketergantungan pada bahan kimia beracun, memungkinkan produk ini untuk meningkatkan inisiatif konservasi, terutama dalam ekosistem bakau yang terletak di daerah pesisir (Boudesocque-Delaye dkk., 2024). Metode berkelanjutan ini tidak hanya signifikan secara ekologis tetapi juga dapat memberikan dukungan ekonomi bagi usaha kecil dan menengah (UKM) yang terlibat dalam sektor kosmetik alami di Indonesia. Produk-produk ini memiliki kapasitas untuk meningkatkan keunggulan kompetitif penawaran perawatan kulit Indonesia di pasar internasional, di mana ada permintaan yang meningkat untuk produk alami dan ramah lingkungan (Amrina dkk., 2021).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian mencakup beberapa tujuan utama. Pertama, untuk berinovasi formulasi lulur cingkaruk khas Banjar yang memanfaatkan buah pedada sebagai bahan inti, yang berlimpah manfaat kulit. Kedua, untuk memfasilitasi penciptaan produk perawatan kulit yang aman, alami, dan ramah lingkungan, selaras dengan gerakan tren *green beauty* yang sedang berkembang. Ketiga, untuk menghasilkan dampak ekonomi yang menguntungkan bagi masyarakat lokal melalui eksploitasi sumber daya alam yang berkelanjutan. Terakhir, untuk menjaga warisan budaya Banjar dengan mengadaptasi dan memodernisasi produk tradisional mereka untuk memastikan mereka tetap relevan dan berharga di pasar modern.

## B. Kosmetik Tradisional

### 1. Green Cosmetic

Dalam wacana kontemporer, telah terjadi peningkatan kesadaran yang mencolok mengenai konsekuensi merugikan yang terkait dengan keberadaan bahan kimia beracun dalam formulasi kosmetik, yang berdampak pada kesejahteraan manusia dan integritas ekologis. Sebuah laporan komprehensif yang diterbitkan oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan Indonesia (BPOM) mengidentifikasi beberapa zat berbahaya yang sering ditemui dalam produk kosmetik, termasuk merkuri, konsentrasi hidrokuinon melebihi 2%, asam retinoat, dietilen glikol, bersama dengan pewarna yang merusak seperti Rhodamine B dan Merah K3. Penggabungan senyawa ini tidak hanya menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan, seperti iritasi kulit, reaksi alergi, dan potensi kerusakan organ, tetapi juga mengancam stabilitas lingkungan, terutama ketika limbah kosmetik tidak dikelola secara memadai (Manful dkk., 2024).

Sebagai alternatif yang layak, kecenderungan yang berkembang terhadap adopsi kosmetik ramah lingkungan, yang biasa disebut sebagai *green cosmetics*, telah muncul. Produk-produk ini dicirikan oleh sifatnya yang tidak berbahaya terhadap konsumen manusia dan ekosistem, menunjukkan efisiensi sumber daya dan produksi limbah berlebih (Amanda dkk., 2024). *Green cosmetics* sebagian besar diformulasikan dari bahan alami yang memfasilitasi peningkatan penyerapan melalui lapisan kulit, sehingga mengurangi potensi paparan agen kimia sintetis. Selain itu, proses produksinya dirancang dengan cermat untuk memperhitungkan konsekuensi ekologis di seluruh siklus hidup, meliputi pemilihan bahan, metodologi produksi, dan praktik distribusi.

Investigasi ilmiah baru-baru ini menunjukkan bahwa pemanfaatan *green cosmetics* secara signifikan mendorong keberlanjutan lingkungan dan mempromosikan hasil kesehatan jangka panjang. Misalnya, komponen seperti

minyak esensial alami, ekstrak tumbuhan, dan berbagai zat organik sering diintegrasikan ke dalam *green cosmetics* dan telah menunjukkan efek menguntungkan pada kesehatan kulit tanpa efek samping (Nhani dkk., 2024). Selain itu, konsumen yang secara sadar memilih *green cosmetics* biasanya menunjukkan kesadaran yang tinggi mengenai keberlanjutan lingkungan, yang mencakup inisiatif yang bertujuan meminimalkan jejak karbon dan meningkatkan strategi pengelolaan limbah (Andika dkk., 2023).

## 2. Cingkaruk

Cingkaruk merupakan lulur tradisional yang berasal dari kelompok suku Banjar di Kalimantan Selatan, yang baru-baru ini mengumpulkan minat baru sebagai pilihan yang layak untuk produk dermatologis alami dan ramah lingkungan. Lulur ini terbuat dari beras ketan yang digiling halus, kemudian digabungkan dengan beragam bahan alami, termasuk rempah-rempah, dan bahan organik lainnya. Cingkaruk dicirikan oleh teksturnya yang relatif kasar, membuatnya berkhasiat dalam menghilangkan sel-sel kulit mati sekaligus membantu dalam retensi hidrasi kulit.

Penelitian kontemporer telah menunjukkan bahwa penerapan lulur tradisional seperti cingkaruk tidak hanya berkontribusi positif terhadap kesehatan kulit dan mendorong pelestarian budaya asli serta pengetahuan tradisional yang berkaitan dengan perawatan tubuh (Mahendrasinh dkk., 2024). Lulur cingkaruk juga dianggap memiliki sifat menenangkan yang memfasilitasi pengurangan stres, keuntungan yang memiliki relevansi signifikan dalam masyarakat yang serba cepat saat ini. Pemanfaatan lulur ini, khususnya dalam ritual kecantikan sebelum upacara pernikahan, terus ditegakkan sebagai aspek dari warisan budaya masyarakat Banjar.

Lulur Cingkaruk tidak hanya menunjukkan efektivitas perawatan kulit tetapi juga sebagai contoh produk kecantikan yang mematuhi prinsip-prinsip *green cosmetics*.

bahan yang sepenuhnya alami dan metode produksi yang tidak membahayakan integritas lingkungan, lulur ini menghadirkan alternatif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, berbeda dengan penawaran kosmetik komersial yang biasanya menggabungkan bahan kimia sintetis (Djajadiwangsa & Alversia, 2022).

## C. Buah Pedada Sebagai Lulus Cingkaruk

### 1. Buah Pedada (*Sonneratia Caseolaris*)

Buah Pedada (*Sonneratia caseolaris*) diakui sebagai spesies penting dalam kategori buah-buahan yang tumbuh subur di ekosistem bakau, terutama di lingkungan perairan payau dan daerah pesisir. Morfologi buah dicirikan oleh bentuk bulat, menampilkan puncak bertangkai dan pangkal yang diselimuti oleh struktur seperti kelopak. Diameter rata-rata buah Pedada sekitar 6,05 cm, dan mereka terkenal mengandung sejumlah besar biji, mulai dari 800 hingga 1200 biji per buah (Mohamed Noor dkk., 2023). Buah ini dibedakan oleh aroma segar yang menonjol dan rasanya yang asam, yang memfasilitasi konsumsi langsungnya. Selain itu, buah Pedada sering dimanfaatkan dalam berbagai kuliner tradisional di beberapa daerah pesisir Indonesia (Verdiantika dkk., 2022).

Indonesia diberkahi dengan ekosistem bakau yang luas, dengan hutan bakau yang mencakup area antara 2,5 dan 4,5 juta hektar, sehingga menjadikannya sebagai yang paling luas di dunia. Besarnya ekosistem bakau ini memastikan pasokan buah Pedada yang berlimpah, menunjukkan potensi buah yang cukup besar untuk eksploitasi di berbagai aplikasi, termasuk sektor kesehatan dan kosmetik (Rahmila dkk., 2023).

Penyelidikan terbaru telah mengungkapkan bahwa buah Pedada menyimpan banyak konstituen kimia yang signifikan, termasuk flavonoid, triterpenoid, dan steroid. Secara khusus, flavonoid yang ada dalam buah Pedada, seperti luteolin 7-O- $\beta$ -glukosida, menunjukkan kemampuan

antioksidan yang luar biasa. Senyawa antioksidan ini sangat penting dalam memerangi radikal bebas, yang terlibat dalam percepatan penuaan dan manifestasi berbagai masalah dermatologis (Damayanti dkk., 2024). Selain flavonoid, buah Pedada juga mencakup triterpenoid dan steroid yang menunjukkan atribut anti-inflamasi, antimikroba, dan antijamur. Senyawa bioaktif ini tidak hanya memberikan keuntungan bagi kesehatan kulit tetapi juga dapat berkontribusi pada pengobatan berbagai penyakit, termasuk peradangan dan infeksi kulit (Chandra, 2023).

Tabel 1: Kandungan Kimia pada Bagian-bagian Tumbuhan Pedada

Bagian Tumbuhan	Kandungan Kimia	Referensi
Buah	Flavonoid, luteolin 7-O-B-glucoside	(Liu dkk., 2024)
Buah	Flavonoid, alkaloid	(Liu dkk., 2024)
Batang dan ranting	Flavonoid, steroid, triterpenoid, dan turunan benzenecarboxylic	(Pacheco dkk., 2023)

Terlepas dari identifikasi banyak senyawa fitokimia dalam buah Pedada, penelitian tambahan sangat penting untuk menjelaskan komposisi kimia buah ini secara komprehensif dan menyelidiki aplikasi potensialnya dalam bidang kesehatan dan kosmetik.

## 2. Lulur Cingkaruk dengan Buah Pedada

Lulur Cingkaruk adalah karakteristik perawatan eksfoliasi kulit asli dari kelompok suku Banjar, diformulasikan terutama dari beras putih ketan. Lulur ini dikenal karena efektif untuk menghilangkan sel-sel kulit yang mati, sehingga meningkatkan kulit tampak cerah dan halus. Penggabungan buah pedada dalam formulasi lulur

dapat secara substansif meningkatkan manfaat yang diberikan oleh produk kosmetik ini. Kandungan antioksidan yang ditemukan dalam buah-buahan pedada, termasuk senyawa fenolik, tanin, flavonoid, dan saponin, memberikan tindakan perlindungan tambahan untuk kulit terhadap radikal bebas. Radikal bebas adalah molekul tidak menentu yang berkontribusi pada kerusakan sel, terutama mempengaruhi dermis, yang mempercepat proses penuaan dan memicu berbagai masalah dermatologis (Villaruz dkk., 2023).

Vitamin C yang ada dalam buah-buahan pedada juga penting dalam biosintesis kolagen, protein struktural dominan yang integral dengan integritas kulit. Kolagen berperan penting dalam mempertahankan elastisitas dan kekencangan kulit, akibatnya mengurangi munculnya keriput dan manifestasi penuaan lainnya. Pemanfaatan buah-buahan pedada dalam lulur dapat memberikan efek mencerahkan alami pada kulit, menghilangkan kebutuhan bahan kimia berbahaya (Khalid dkk., 2024). Lulur yang ditingkatkan dengan buah-buahan pedada dapat diklasifikasikan sebagai *green cosmetic*, disebabkan oleh formulasinya dari bahan alami yang aman secara dermatologis dan berkelanjutan secara ekologis. Formulasi ini mendukung pelestarian praktik budaya adat dengan menggunakan bahan-bahan tradisional yang telah dimanfaatkan dari generasi ke generasi oleh masyarakat Banjar. Dengan inovasi dan peningkatan lebih lanjut, produk ini menunjukkan potensi yang signifikan untuk diterima di pasar yang lebih luas, baik di dalam negeri maupun internasional, sebagai solusi kecantikan alami yang aman dan efektif (Chaudhari, 2024).

## D. Pra Pembuatan Lulur Cingkaruk Dengan Buah Pedada

### 1. Alat dan Bahan

#### a. Persiapan Alat

Persiapan alat yang digunakan pada pembuatan lulur tradisional harus dalam keadaan bersih, baik, dan tidak rusak. Peralatan disterilkan dengan alkohol. Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 2: Alat penelitian

No	Nama Alat	Spesifikasi	Jumlah
1.	Alat timbangan	Kaca	1
2.	Blender	Kaca	1
3.	Pisau	Stainles	1
4.	Ayakan tepung	Plastik	1
5.	Sendok pegaduk	Kaca	2
6.	Mangkok	Plastik	1
7.	Tampah	Anyaman bambu	1
8.	Baskom	Plastik	2
9.	Gelas ukur	Plastik	1

#### b. Persiapan Bahan

Bahan - bahan yang akan digunakan ditimbang terlebih dahulu untuk menetapkan berat bahan atau ukuran bahan yang telah ditentukan oleh peneliti. Setelah ditimbang, bahan dapat diolah. Bahan yang digunakan untuk eksperimen dapat dilihat pada tabel berikut.

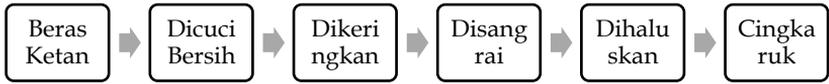
Tabel 3: Bahan Penelitian

N o	Bahan
1	Beras ketan putih
2	Buah pedada
3	Aquades

## 2. Rancangan dan Prosuder Pembuatan

### a. Pelaksanaan

#### 1) Pembuatan Cingkaruk



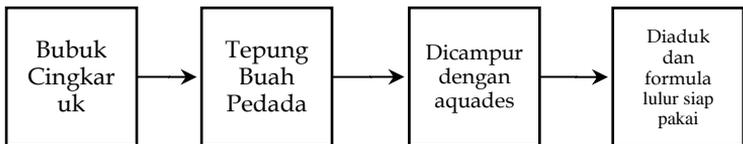
Gambar 1: Pembuatan Cingkaruk

#### 2) Pembuatan Tepung Buah Pedada



Gambar 2: Pembuatan Tepung Buah Pedada

#### 3) Pembuatan Lulur Cingkaruk Dengan Memanfaatkan Buah Pedada



Gambar 3: Pembuatan Lulur Cingkaruk Dengan Memanfaatkan Buah Pedada

### b. Teknik Pengumpulan Data

Metode yang digunakan untuk akumulasi data dalam penyelidikan ini adalah penelitian observasional. Penelitian observasional merupakan metode pengawasan langsung yang melibatkan penggunaan penuh indera manusia (visual, penciuman, pendengaran, sentuhan, dan selera) untuk secara sistematis memperoleh wawasan mengenai subjek penyelidikan (Graan dkk., 2024). Dalam konteks penelitian ini, data dikumpulkan menggunakan lembar observasi yang dibuat dengan cermat untuk mengevaluasi berbagai sifat fisik lulur tradisional.

Karakteristik yang diamati meliputi aroma, warna, tekstur, bentuk, daya rekat, dan tingkat preferensi yang ditunjukkan oleh panelis. Proses evaluasi dilakukan oleh pengamat terlatih, dengan jumlah pengamat ditentukan berdasarkan persyaratan spesifik penelitian.

### **3. Instrumen Penelitian**

Pada penelitian ini, instrumen utama yang digunakan adalah lembar observasi. Data dikumpulkan dengan cara sistematis, di mana panelis diminta memberikan tanda centang (√) pada daftar periksa di lembar observasi. Panelis menilai berbagai aspek lulur tradisional, seperti aroma, warna, tekstur, bentuk, daya lekat, dan tingkat kesukaan. Setiap penilaian dicatat di kolom yang sudah disediakan sesuai dengan kesan mereka. Metode ini membantu peneliti mendapatkan data yang akurat dan mudah dianalisis, sehingga hasil penelitian bisa diolah dengan baik untuk melihat kualitas lulur yang diuji.

## **E. Variasi Buah Pedada Pada Pembuatan Lulur Cingkaruk**

### **1. Menilai Dampak Variasi Proporsi Buah Pedada**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menilai dampak variasi proporsi buah pedada (*Sonneratia caseolaris*) terhadap karakteristik fisik lulur tradisional Banjar, dengan tetap mempertahankan cingkaruk pada proporsi konstan dengan jumlah buah pedada 5. Lulur tradisional ini diantisipasi untuk berfungsi sebagai alternatif yang layak untuk produk kosmetik alami, selaras dengan tren *green beauty* yang menekankan pemanfaatan bahan-bahan alami yang aman dan ramah lingkungan.

Selama penyelidikan ini, percobaan dilakukan dengan menggunakan lima formulasi berbeda, masing-masing menggabungkan proporsi buah pedada yang bervariasi mulai dari 1 hingga 5 buah sedangkan proporsi buah yang mengental secara konsisten dipertahankan pada 5 buah. Kelima formulasi ini menjadi sasaran evaluasi berdasarkan

lima variabel utama: aroma, warna, tekstur, bentuk, dan lengket. Setiap variabel dinilai oleh 15 panelis menggunakan skala peringkat dari 1 (sangat tidak disukai) hingga 5 (sangat disukai).



Gambar 4: Variasi buah pedada pada pembuatan lulur cingkaruk

Temuan dari penyelidikan ini menjadi sasaran analisis statistik melalui Analysis of Variance (ANOVA) untuk memastikan adanya perbedaan signifikan di antara formulasi yang diuji, diikuti oleh Tes Duncan untuk mengidentifikasi pengelompokan signifikan untuk setiap variabel. Evaluasi ini bertujuan untuk menentukan formulasi optimal yang menghasilkan lulur dengan kualitas fisik yang unggul, meliputi aroma, warna, tekstur, bentuk, dan adhesi.

Penelitian ini juga mengevaluasi pengaruh variasi proporsi buah pedada (*Sonneratia caseolaris*) terhadap sifat fisik lulur tradisional khas Banjar dengan cingkaruk yang tetap pada perbandingan 5 cingkaruk . Lima komposisi yang diuji adalah:

1. **Komposisi A ( 5 Cingkaruk : 1 Buah Pedada )**
2. **Komposisi B ( 5 Cingkaruk : 2 Buah Pedada )**
3. **Komposisi C ( 5 Cingkaruk : 3 Buah Pedada )**
4. **Komposisi D ( 5 Cingkaruk : 4 Buah Pedada )**
5. **Komposisi E ( 5 Cingkaruk : 5 Buah Pedada )**

Penilaian dilakukan oleh 15 panelis terhadap lima aspek fisik lulur: aroma, warna, tekstur, bentuk, dan daya lekat, dengan skala penilaian dari 1 (sangat tidak disukai)

hingga 5 (sangat disukai). Hasil penilaian panelis disajikan pada tabel berikut

Tabel 2: Hasil data pengujian lulu pada 15 orang panelis

Panelis	Komp osisi	Aro ma	Warna	Tekstur	Bentuk	Daya Lekat
A.N	A	2	3	3	3	3
H.N	A	2	3	3	2	2
R.A	A	3	3	3	3	3
S.Y	B	3	4	3	4	4
R.Y	B	3	4	4	4	3
Y	B	4	4	4	4	4
R.A	C	4	4	4	4	5
N.S	C	4	5	4	5	5
N.A	C	4	5	5	5	5
Q.N	D	5	5	5	5	5
S.H	D	5	5	5	5	4
D.F	D	5	5	5	5	5
D.H	E	5	5	5	5	5
M.S	E	5	5	5	5	5
N.S	E	5	5	5	5	5

Berdasarkan tabel diatas hampir keseluruhan aspek dinyatakan baik dengan penjelasan sesuai komposisinya diuraikan pada tabel berikut:

Tabel 3: Hasil rata-rata pengujian lulu sesuai aspek

Komposisi	Aroma	Warna	Tekstur	Bentuk	Daya lekat
A (5:1)	2,3	3,0	3,0	2,7	2,7
B (5:2)	3,3	4,0	3,7	3,7	3,7
C (5:3)	4,0	4,7	4,3	4,7	4,7
D (5:4)	5,0	5,0	5,0	5,0	4,7
E (5:5)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0

## HASIL UJI ANOVA

Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan pada semua aspek yang diukur, yaitu aroma, warna, tekstur, bentuk, dan daya lekat. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa penambahan buah pedada dalam komposisi lulu secara signifikan memengaruhi kualitas fisik

produk, dengan proporsi buah pedada yang lebih tinggi umumnya menghasilkan hasil yang lebih baik di semua variabel yang diukur. Data detail dari hasil uji ANOVA untuk masing-masing aspek disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 4: hasil uji Anova

Aspek	Statistik anova	p-value	Interpretasi
Aroma	F(4, 45) = 10,87	0.001 < 0.05	Ada perbedaan signifikan dalam aroma lulur antara berbagai proporsi buah pedada. Proporsi lebih tinggi menghasilkan aroma yang lebih segar dan disukai.
Warna	F(4, 45) = 11,23	0.001 < 0.05	Warna lulur menunjukkan perbedaan signifikan. Proporsi buah pedada lebih tinggi menghasilkan warna yang lebih cerah dan menarik.
Tekstur	F(4, 45) = 12,34	0.001 < 0.05	Terdapat perbedaan signifikan dalam tekstur lulur. Peningkatan proporsi buah pedada menghasilkan tekstur lebih halus dan seragam.
Bentuk	F(4, 45) = 9,78	0.002 < 0.05	Perbedaan signifikan dalam bentuk lulur. Proporsi buah pedada lebih tinggi menghasilkan bentuk yang lebih stabil dan tidak mudah hancur.
Daya lekat	F(4, 45) = 10.12	0.002 < 0.05	Daya lekat lulur menunjukkan perbedaan signifikan. Peningkatan

proporsi buah pedada menghasilkan daya lekat yang lebih baik.

### UJI DUNCAN

Uji Duncan digunakan untuk membandingkan kelompok-kelompok komposisi lulu dengan proporsi buah pedada yang berbeda secara spesifik dan menentukan perbedaan signifikan di antara komposisi yang diuji. Hasil Uji Duncan menunjukkan perbedaan signifikan dalam kualitas fisik lulu berdasarkan variabel aroma, warna, tekstur, bentuk, dan daya lekat.

Tabel 5: Hasil uji Duncan

Aspek	Kelompok A	Kelompok B	Kelompok C	Kelompok D	Kelompok E
Aroma	Komposisi D, E (Rata-rata = 5.0)	Komposisi C (Rata-rata = 4.0)	Komposisi B (Rata-rata = 3.3)	Komposisi A (Rata-rata = 2.3)	-
Warna	Komposisi D, E (Rata-rata = 5.0)	Komposisi C (Rata-rata = 4.7)	Komposisi C (Rata-rata = 4.3)	Komposisi A (Rata-rata = 3.0)	-
Tekstur	Komposisi E (Rata-rata = 5.0)	Komposisi D (Rata-rata = 5.0)	Komposisi B (Rata-rata = 3.7)	Komposisi B (Rata-rata = 3.7)	Komposisi A (Rata-rata = 3.7)
Bentuk	Komposisi D, E (Rata-rata = 5.0)	Komposisi C (Rata-rata = 4.7)	Komposisi B (Rata-rata = 3.7)	Komposisi A (Rata-rata = 2.7)	-

Daya lekat	Kompo sisi E (Rata-rata = 5.0)	Kompo sisi D (Rata-rata = 4.7)	Kompo sisi C (Rata-rata = 4.7)	Kompo sisi B (Rata-rata = 3.7)	Kompo sisi A (Rata-rata = 2.7)
------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

## 2. Peningkatan Proporsi Buah Pedada

Dari analisis deskriptif ini, terlihat bahwa peningkatan proporsi buah pedada secara konsisten meningkatkan semua aspek kualitas lulur, termasuk aroma, warna, tekstur, bentuk, dan daya lekat. Komposisi E (5 Cingkaruk : 5 Buah Pedada) adalah formulasi terbaik, menghasilkan lulur dengan kualitas fisik yang optimal, menjadikannya produk yang paling menarik dan efektif.

Penelitian ini selaras dengan temuan Parlapanska dkk., (2024), yang menunjukkan bahwa produk kosmetik berbasis bahan alami dengan kandungan flavonoid dan antioksidan tinggi, seperti yang ditemukan pada buah pedada, dapat meningkatkan estetika dan keamanan bagi kulit. Antioksidan alami dari bahan-bahan ini memberikan perlindungan terhadap stres oksidatif, yang merupakan faktor utama dalam penuaan kulit.

Selain itu, Wang dkk., (2024) menemukan bahwa penggunaan bahan-bahan yang diekstraksi dari tanaman mangrove, seperti buah pedada, dapat meningkatkan kapasitas pelembap dan kemampuan penyerapan kulit pada produk kosmetik. Ini relevan dengan hasil yang menunjukkan bahwa proporsi buah pedada yang lebih tinggi menghasilkan tekstur yang lebih halus dan daya lekat yang optimal, menjadikan produk lebih nyaman dan efektif untuk digunakan.

Hasil penelitian ini menggarisbawahi pentingnya penggunaan bahan alami yang tepat proporsi dalam formulasi kosmetik untuk mencapai hasil yang optimal dalam hal estetika dan fungsi produk. Penggunaan buah

pedada dengan cingkaruk tetap memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk pengembangan lebih lanjut produk kosmetik tradisional, yang tidak hanya memanfaatkan potensi bahan lokal tetapi juga mendukung praktik kosmetik yang lebih berkelanjutan.

Uji ANOVA dilakukan untuk mengevaluasi apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara kelompok komposisi lulur berdasarkan proporsi buah pedada pada variabel: aroma, warna, tekstur, bentuk, dan daya lekat. Dari hasil ANOVA di atas semua variabel kualitas fisik lulur (aroma, warna, tekstur, bentuk, dan daya lekat) dipengaruhi secara signifikan oleh variasi proporsi buah pedada. Peningkatan proporsi buah pedada memberikan dampak positif terhadap kualitas lulur, membuatnya lebih menarik dan efektif sebagai produk kosmetik tradisional yang memanfaatkan bahan alami.

Penelitian ini sejalan dengan studi oleh Vishnu dkk., (2024) mendukung temuan ini dengan menunjukkan bahwa bahan alami lokal seperti buah pedada tidak hanya meningkatkan daya lekat dan tekstur produk kosmetik, tetapi juga meningkatkan preferensi konsumen terhadap produk tersebut. Mereka menemukan bahwa konsumen lebih cenderung memilih produk dengan bahan alami yang memiliki efek melembapkan dan stabilitas yang baik, yang juga tercermin dalam hasil ANOVA pada penelitian ini. Studi terbaru oleh Wang dkk., (2024) mengidentifikasi bahwa senyawa bioaktif dalam tanaman mangrove, termasuk buah pedada, memiliki kemampuan untuk meningkatkan kapasitas pelembap dan daya serap kulit, yang berkontribusi pada daya lekat produk yang lebih baik. Ini relevan dengan temuan penelitian ini, di mana proporsi buah pedada yang lebih tinggi menghasilkan lulur dengan daya lekat yang optimal.

Dengan demikian, formulasi dengan proporsi buah pedada yang lebih tinggi disarankan untuk menghasilkan produk lulur tradisional dengan kualitas optimal. Temuan ini

juga menunjukkan potensi besar bahan-bahan alami dalam meningkatkan performa produk kosmetik, menjadikannya lebih sesuai dengan preferensi konsumen yang mencari produk yang aman, efektif, dan berkelanjutan.

### 3. Hasil Analisis Uji Duncan

Berdasarkan hasil Uji Duncan, peningkatan jumlah buah pedada dalam formulasi lulur tradisional khas Banjar memberikan peningkatan signifikan pada kualitas fisik produk. Penambahan buah pedada memperbaiki berbagai aspek seperti aroma, warna, tekstur, bentuk, dan daya lekat, bahkan dengan cingkaruk tetap digunakan dalam jumlah yang sama. Berikut adalah pembahasan detail untuk setiap variabel yang terpengaruh:

#### a. Aroma

Aroma yang lebih segar dihasilkan dengan proporsi buah pedada yang lebih tinggi. Komposisi D dan E yang memiliki proporsi buah 4 buah pedada dan 5 buah cingkaruk menunjukkan aroma yang sangat segar dan menarik, yang menjadi daya tarik utama bagi konsumen yang menginginkan produk kosmetik dengan aroma alami. Aroma segar dan alami ini penting dalam produk kosmetik karena memberikan kesan kualitas yang tinggi kepada konsumen. Minyak esensial yang ada dalam buah pedada, yang mengandung senyawa volatil seperti terpenoid dan ester, berperan besar dalam menciptakan aroma ini. Sebuah penelitian menunjukkan bahwa minyak esensial dapat memberikan aroma yang tahan lama dan menyenangkan pada kosmetik berbahan alami, menarik bagi konsumen yang lebih sadar akan bahan alami (El Khetabi dkk., 2022)

#### b. Warna

Warna lulur menjadi semakin cerah dengan meningkatnya proporsi buah pedada. Komposisi D dan E memberikan warna yang paling menarik, yang didukung oleh pigmen alami dalam buah pedada seperti flavonoid

dan karotenoid. Flavonoid dan karotenoid adalah pigmen alami yang memberikan warna cerah pada produk kosmetik berbasis tumbuhan. Kedua pigmen ini tidak hanya meningkatkan daya tarik visual tetapi juga memperkuat persepsi kualitas produk kosmetik di mata konsumen. Penelitian juga menunjukkan bahwa pigmen alami dari tanaman berperan penting dalam formulasi kosmetik yang ramah lingkungan dan menarik secara estetika (Flieger dkk., 2024)

c. **Tekstur**

Tekstur lulur yang halus dan seragam diperoleh dengan peningkatan proporsi buah pedada. Komposisi E, dengan 5 buah pedada, memiliki tekstur yang paling halus, yang meningkatkan kenyamanan saat diaplikasikan pada kulit. Bahan alami seperti buah pedada, yang memiliki kandungan air dan komposisi kimia yang seimbang, dapat menghasilkan tekstur halus dan stabil pada produk seperti lulur, yang penting bagi kenyamanan pengguna, terutama pada kulit sensitif. Menurut (Kamei dkk., 2024) produk yang memiliki tekstur halus lebih disukai karena memberikan pengalaman pengguna yang lebih menyenangkan, terutama untuk produk yang digunakan pada kulit. Selain itu, tekstur halus cenderung lebih efektif dalam mengaplikasikan bahan aktif ke permukaan kulit secara merata, sehingga meningkatkan efisiensi produk dalam memberikan manfaat seperti hidrasi dan eksfoliasi.

d. **Bentuk**

Stabilitas bentuk lulur juga menunjukkan peningkatan yang signifikan dengan lebih banyak buah pedada. Bentuk yang stabil memastikan lulur tidak mudah hancur selama penggunaan, meningkatkan pengalaman pengguna secara keseluruhan. Ini sangat penting untuk memastikan produk dapat digunakan dengan mudah dan efektif tanpa mengalami kerusakan bentuk. Selain meningkatkan pengalaman pengguna,

stabilitas bentuk juga mempengaruhi persepsi konsumen terhadap kualitas produk. Produk kosmetik yang memiliki stabilitas bentuk yang baik sering kali diasosiasikan dengan kualitas yang lebih tinggi dan keawetan yang lebih baik selama penyimpanan. (Salazar dkk., 2023). Pengguna cenderung lebih menyukai produk yang tidak berubah bentuk atau konsistensinya, karena ini menunjukkan produk tersebut dibuat dengan formulasi yang baik dan stabil. Stabilitas yang baik juga menunjukkan bahwa komposisi bahan-bahan aktif dalam produk, seperti senyawa dari mentimun, tetap terjaga dan tidak terdegradasi selama penyimpanan atau penggunaan. (Torres-Mendoza dkk., 2023).

e. **Daya Lekat**

Daya lekat lulur adalah yang terbaik pada komposisi dengan proporsi buah pedada yang tinggi. Komposisi E menunjukkan daya lekat optimal, yang sangat penting untuk memastikan bahwa lulur tetap pada kulit selama aplikasi dan memberikan manfaat eksfoliasi yang efektif. Daya lekat yang baik memastikan lulur berfungsi optimal selama penggunaan.

Berdasarkan semua aspek yang meningkat dapat disimpulkan dengan data analisis duncan terlihat peningkatan proporsi buah pedada dalam lulur tradisional khas Banjar memberikan dampak yang signifikan terhadap kualitas fisik produk. Setiap aspek yang diukur, mulai dari aroma, warna, tekstur, stabilitas bentuk, hingga daya lekat, menunjukkan perbaikan yang jelas dengan penambahan buah pedada. Senyawa volatil seperti minyak esensial dalam buah pedada terbukti mampu meningkatkan aroma segar yang diinginkan konsumen, sementara pigmen alami seperti flavonoid dan karotenoid memperkuat daya tarik visual dengan warna yang lebih cerah. Sejalan dengan penelitian oleh Mostafa dkk (2022) menekankan bahwa aroma buah berasal dari senyawa volatil seperti terpenoid dan aldehid, yang

menjadi faktor penting dalam daya tarik produk kosmetik berbahan alami. Tekstur halus dan seragam yang dihasilkan tidak hanya memberikan kenyamanan aplikasi, tetapi juga menjadi solusi bagi pengguna dengan kulit sensitif. Di sisi lain, stabilitas bentuk dan daya lekat yang optimal menambah nilai fungsional lulur, menjamin bahwa produk tetap efektif selama digunakan. Buah pedada tidak hanya memperkaya nilai estetika lulur, tetapi juga meningkatkan fungsionalitas dan kepuasan pengguna secara keseluruhan, menjadikannya pilihan unggul di pasar produk kecantikan tradisional (Rakhmawati dkk., 2021)

## **F. Penutup**

Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan proporsi buah pedada (*Sonneratia caseolaris*) secara signifikan berdampak positif terhadap kualitas fisik lulur tradisional khas Banjar. Variasi proporsi buah pedada mempengaruhi lima aspek utama: aroma, warna, tekstur, bentuk, dan daya lekat. Formulasi dengan proporsi buah pedada yang lebih tinggi, khususnya Komposisi D (5 cingkaruk : 4 buah pedada) dan Komposisi E (5 cingkaruk : 5 buah pedada), secara konsisten memberikan hasil terbaik dalam semua aspek yang diukur.

Hasil uji statistik ANOVA mengungkapkan adanya perbedaan signifikan antara formulasi lulur dengan proporsi buah pedada yang berbeda pada semua variabel yang diuji. Ini menunjukkan bahwa proporsi buah pedada yang lebih tinggi berkontribusi secara signifikan terhadap peningkatan kualitas fisik lulur. Uji Duncan selanjutnya menunjukkan bahwa formulasi D dan E menempati kelompok yang paling disukai dalam semua variabel, mulai dari aroma, warna, tekstur, bentuk, hingga daya lekat.

Buah pedada, sebagai bahan alami, tidak hanya memperkaya nilai estetika lulur tradisional khas Banjar, tetapi juga memberikan fungsionalitas yang lebih tinggi. Senyawa-senyawa alami dalam buah pedada seperti minyak esensial,

flavonoid, dan karotenoid memberikan manfaat tambahan yang signifikan bagi kualitas produk. Penggunaan buah pedada dalam produk kosmetik ini juga mendukung tren green beauty, yang mengedepankan penggunaan bahan-bahan alami yang aman, ramah lingkungan, dan berkelanjutan.

## G. Daftar Pustaka

- Abed, M. S., Moosa, A. A., & Alzuhairi, M. A. (2024). Heavy metals in cosmetics and tattoos: A review of historical background, health impact, and regulatory limits. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 13, 100390. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100390>
- Ajaysinh Mahendrasinh, P., VirenkumarVasantbhai, S., & Saini, D. (2024). Formulation and Evaluation of Poly Herbal Body Scrub. *International Journal of Innovative Science and Research Technology (IJISRT)*, 855-860. <https://doi.org/10.38124/ijisrt/IJISRT24APR1237>
- Amanda, K. N., Armandari, M. O., & Ambarwati, N. S. S. (2024). Pengaruh Kesadaran Lingkungan Mahasiswa Tata Rias UNJ terhadap Minat Beli Produk Green Cosmetic. *Academy of Education Journal*, 15(2), 1308-1316. <https://doi.org/10.47200/aoej.v15i2.2430>
- Amrina, U., Hidayatno, A., & Zagloel, T. Y. M. (2021). A Model-Based Strategy for Developing Sustainable Cosmetics Small and Medium Industries with System Dynamics. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(4), 225. <https://doi.org/10.3390/joitmc7040225>
- Andika, A., Nadia, N., Faculty of Economic and Business, Janabadra University, Yogyakarta, Indonesia, Najmudin, M., Faculty of Economic and Business, Janabadra University, Yogyakarta, Indonesia, Hasibuan, A. B., & Faculty of Economic and Business, Janabadra University, Yogyakarta, Indonesia. (2023). Green Cosmetics In Indonesia: Unraveling Attitude-Behavior Gap And

- Gender Moderation. *Jurnal Aplikasi Manajemen*, 21(4).  
<https://doi.org/10.21776/ub.jam.2023.021.04.20>
- Boudesocque-Delaye, L., Ardeza, I. M., Verger, A., Grard, R., Théry-Koné, I., Perse, X., & Munnier, E. (2024). Natural Deep Eutectic Solvents as a Novel Bio-Based Matrix for Ready-to-Use Natural Antioxidants-Enriched Ingredients: Extraction and Formulation Optimization. *Cosmetics*, 11(1), 17. <https://doi.org/10.3390/cosmetics11010017>
- Chandra, M. (2023). Role of Bioactive Compounds in Hormonal Bioregulation. Dalam M. Thakur & T. Belwal (Ed.), *Bioactive Components* (hlm. 323–342). Springer Nature Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-2366-1\\_19](https://doi.org/10.1007/978-981-19-2366-1_19)
- Chaudhari, A. (2024). Formulation and Evaluation of Face Scrub from Aegle Marvelous Fruit. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 12(6), 1415–1423. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.61677>
- Damayanti, A. A., Diarsvitri, W., Nefertiti, E. P., & Rahayu, I. N. (2024). Identification of Bioactive Compounds from Pedada Fruit Extract (*Sonneratia Caseolaris*) to Prevent Stunting. *Jurnal Profesi Medika: Jurnal Kedokteran dan Kesehatan*, 18(1), 58–66. <https://doi.org/10.33533/jpm.v18i1.7491>
- Dini, I. (2024). “Edible Beauty”: The Evolution of Environmentally Friendly Cosmetics and Packaging. *Antioxidants*, 13(6), 742. <https://doi.org/10.3390/antiox13060742>
- Djajadiwangsa, K. P., & Alversia, Y. (2022). Sustainable Beauty: Pengaruh Eco-Label, Product Attributes, Perceived Consumer Effectiveness (PCE), dan Environmental Awareness terhadap Green Purchase Behavior. *INOBI: Jurnal Inovasi Bisnis dan Manajemen Indonesia*, 6(1), 121–137. <https://doi.org/10.31842/jurnalinobis.v6i1.263>
- El Khetabi, A., Lahlali, R., Ezrari, S., Radouane, N., Lyouf, N., Banani, H., Askarne, L., Tahiri, A., El Ghadraoui, L.,

- Belmalha, S., & Barka, E. A. (2022). Role of plant extracts and essential oils in fighting against postharvest fruit pathogens and extending fruit shelf life: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 120, 402–417. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.009>
- Flieger, J., Raszewska-Famielec, M., Radzikowska-Büchner, E., & Flieger, W. (2024). Skin Protection by Carotenoid Pigments. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(3), 1431. <https://doi.org/10.3390/ijms25031431>
- Goswami, N. (2024). Sustainability: The Green Cosmetic Brands for Eco-Friendly Transformation. *RESEARCH REVIEW International Journal of Multidisciplinary*, 9(3), 236–243. <https://doi.org/10.31305/riijm.2024.v09.n03.025>
- Graan, C. V., Roos, V., & Katjene, M. (2024). *Direct observation as data-collection method: Application in a commercial forensic interview*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3812106/v1>
- Hassan, M., Mir, T. A., Jan, M., Amjad, M. S., Aziz, M. A., Pieroni, A., Vitasović-Kosić, I., & Bussmann, R. W. (2024). Foraging for the future: Traditional culinary uses of wild plants in the Western Himalayas–Kashmir Valley (India). *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 20(1), 66. <https://doi.org/10.1186/s13002-024-00707-7>
- Kalil, C. L. P. V., de-Vargas, A. S., Grazziotin, F. P. R., Campos, V. B., & Chaves, C. R. P. (2022). Clean beauty – Literature review of new trends in cosmetics. *Surgical & Cosmetic Dermatology*, 14. <https://doi.org/10.5935/scd1984-8773.2022140137>
- Kamei, M., Nishibe, M., Araki, R., Kohyama, K., & Kusakabe, Y. (2024). Effect of texture preference on food texture perception: Exploring the role of matching food texture and preference. *Appetite*, 192, 107078. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2023.107078>
- Khalid, A., Iqbal, Z., Rehman, S.-U.-, & Yousaf, Z. (2024). Role of Vitamin C in Skin Aging Mechanism-A Narrative Review. *Journal of Health and Rehabilitation Research*, 4(2), 1489–1494. <https://doi.org/10.61919/jhrr.v4i2.1078>

- Liu, Z., Yang, B., Zhang, T., Sun, H., Mao, L., Yang, S., Dai, X., Suo, H., Zhang, Z., Chen, W., Chen, H., Xu, W., Dossa, K., Zou, X., & Ou, L. (2024). Full-Length Transcriptome Sequencing of Pepper Fruit During Development and Construction of a Transcript Variation Database. *Horticulture Research*, uhae198. <https://doi.org/10.1093/hr/uhae198>
- Manful, M. E., Ahmed, L., & Barry-Ryan, C. (2024). Cosmetic Formulations from Natural Sources: Safety Considerations and Legislative Frameworks in the European Union. *Cosmetics*, 11(3), 72. <https://doi.org/10.3390/cosmetics11030072>
- Mohamed Noor, N. R., Saidin, S. H., Mohamad Ali, N. A., Abd. Aziz, S. H., Zainol, N. S., Jamil, M., Yusoff, N., Mohd Hirmizi, N. H., Markandan, S., Khoo, M. G. H., Jalil, A. M., & Tolmanan, M. S. Y. (2023). Study on the pre-formulation of *Sonneratia caseolaris* as ready-to-drink fruitbeverage. *Food Research*, 6(Supplementary 2), 258–262. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.6\(S2\).015](https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(S2).015)
- Mostafa, S., Wang, Y., Zeng, W., & Jin, B. (2022). Floral Scents and Fruit Aromas: Functions, Compositions, Biosynthesis, and Regulation. *Frontiers in Plant Science*, 13, 860157. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.860157>
- Mr. Padre Pawan Vishnu, Prof. Joshi M. M., & Dr. Khanage S. G. (2024). Formulation and Evaluation of Herbal Face Wash. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 504–515. <https://doi.org/10.48175/IJARST-19069>
- Nhani, G. B. B., Di Filippo, L. D., De Paula, G. A., Mantovanelli, V. R., Da Fonseca, P. P., Tashiro, F. M., Monteiro, D. C., Fonseca-Santos, B., Duarte, J. L., & Chorilli, M. (2024). High-Tech Sustainable Beauty: Exploring Nanotechnology for the Development of Cosmetics Using Plant and Animal By-Products. *Cosmetics*, 11(4), 112. <https://doi.org/10.3390/cosmetics11040112>

- Pacheco, N., Herrera-Pool, E., Castañeda-Valbuena, D., Cuevas-Bernardino, J. C., Castillo-Aguilar, C. C., Andueza-Noh, R., Garruña-Hernández, R., Ramos-Díaz, A., & Ayora-Talavera, T. (2023). Phytochemical Compounds from Xcatik (*Capsicum annuum* L.) Chili Tissues Extracted by Uae: Biological Activity and Phenolic Profile. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 67(3), 200–212. <https://doi.org/10.29356/jmcs.v67i3.1970>
- Petkova - Parlapanska, K., Handzhiyski, Y., Georgieva, E., Nikolova, G., & Karamalakova, Y. (2024). ANTIBACTERIAL AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF COSMETIC CREAMS WITH EXTRACTS OF DRY FLOWERS AND FRUITS OF SAMBUCUS NIGRA L. - USE OF SAMBUCUS NIGRA L. AS A NON-TRADITIONAL CHEMICAL PRESERVATIVE. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 59(3), 549–557. <https://doi.org/10.59957/jctm.v59.i3.2024.7>
- Rahmila, Y. I., Prasetyo, L. B., Kusmana, C., Setiawan, Y., Suyadi, Efiyanti, L., Indrawan, D. A., Pranoto, B., Anwar, M. A., Yulianti, M., Yeny, I., Herningtyas, W., & Amru, K. (2023). Determination of Health Index Classification and Management Sustainable Mangrove Ecosystems Using a Combination of Fuzzy and ISM Methods. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1266(1), 012087. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1266/1/012087>
- Rakhmawati, R., Kusumaningrum, D. M., Artanti, A. N., Prihapsara, F., & Hadi, S. (2021). Optimization Of Natural Body Scrub Formulation Based On Oilseed Press Cake Of Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum* L) Using D-Optimal Mixture Experimental Design. *Journal of Physics: Conference Series*, 1912(1), 012051. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1912/1/012051>
- Salazar, H. F., Poveromo, L. P., Corpuz, G. S., O'Connell, G. M., Shih, S., Chopoorrian, A. H., Salingaros, S., Aboaf, C. C., Dong, X., & Spector, J. A. (2023). "Smooth" Breast Implant Surface Design That Provides Implant Stability. *Plastic and*

- Reconstructive Surgery - Global Open*, 11(4S), 129–130.  
<https://doi.org/10.1097/01.GOX.0000935152.47290.17>
- Torres-Mendoza, K. E., Lara-Tambaco, R. M., & León-Araujo, M. E. (2023). Obtención y caracterización de la pectina extraída de la cáscara de pepino (*Cucumis Sativus* L- Variedad Híbrido Dasher II) y validarla como producto gelificante en compotas. *Ibero-American Journal of Engineering & Technology Studies*, 3(1), 205–223.  
<https://doi.org/10.56183/iberotecs.v3i1.597>
- Tsouna, A., Frezyderm SA, Athens, Greece, Pavlou, P., Mellou, F., Papadopoulos, A., & Giannakoudaki, A. (2024). Natural, Organic Cosmetics and New trends. Development of a Natural Toothpaste against plaque. *Epitheorese Klinikes Farmakologias kai Farmakokinetikes – Greek Edition*, 42(1), 23–27.  
<https://doi.org/10.61873/ZURK6707>
- Verdiantika, T. C., Pujiastuti, D. Y., & Andriyono, S. (2022). KARAKTERISASI SIFAT FISIK DAN AKTIVITAS ANTIOKSIDAN PADA TEPUNG BUAH PEDADA (*Sonneratia caseolaris*) DENGAN SUHU PENGERINGAN BERBEDA. *Marinade*, 5(02), 99–109.  
<https://doi.org/10.31629/marinade.v5i02.4632>
- Villaruz, J., Yao, K. B., Dela Cruz, F., Calanasan, C., Matias, R., Pagcatipunan, R., Policarpio, J., & Vilela, G. (2023). Total Phenolic and Flavonoid Content and In Vitro Antioxidant Activity of Selected Herbal Products Using Oxygen Radical Absorbance Capacity, Multi-radical (ORAC MR5) Assays. *Philippine Journal of Science*, 152(1).  
<https://doi.org/10.56899/152.01.32>
- Wang, J., Liao, E., Ren, Z., Wang, Q., Xu, Z., Wu, S., Yu, C., & Yin, Y. (2024). Extraction and In Vitro Skincare Effect Assessment of Polysaccharides Extract from the Roots of *Abelmoschus manihot* (L.). *Molecules*, 29(9), 2109.  
<https://doi.org/10.3390/molecules29092109>