JUPITER
Teknologi Informatika & Komputer
Vol. 7 No. 2 Agustus 2026
Universitas Muhammadiyah Bekasi Karawang
P-ISSN: 2798-3129 , E-ISSN: 2798-6187

RANCANG BANGUN PEMILAH SAMPAH ORGANIK DAN ANORGANIK BERBASIS IOT DENGAN MONITORING APLIKASI BLYNK

Nurul Fikra Mahardika[1] , Syahbaniar Rofiah[2]

[1,2]Fakultas Teknik dan Komunikasi, Program Studi Teknik Informatika
Universitas Muhammadiyah Bekasi Karawang, Kota Bekasi, Indonesia

[1]fikra.mahardika@gmail.com
[2]rsyahbaniar@gmail.com

ABSTRAK

Rendahnya kesadaran masyarakat dalam memilah sampah secara manual menyebabkan proses daur ulang tidak optimal dan meningkatkan beban TPA. Penelitian ini merancang dan menguji prototipe tempat sampah pintar berbasis IoT yang mampu mendeteksi, mengklasifikasikan, dan memilah sampah secara otomatis sesuai jenis materialnya, sekaligus menyediakan pemantauan kapasitas jarak jauh. Menggunakan model *prototyping*, sistem mengintegrasikan mikrokontroler ESP32, sensor proximity induktif, kapasitif, dan infrared, sensor ultrasonik HC-SR04, serta motor servo SG-90, dengan data ditampilkan pada dasbor Blynk-IoT. Pengujian *black box*, *path testing*, dan *User Acceptance Testing* menunjukkan seluruh skenario fungsional valid, dengan akurasi pemilahan sekitar 90% dan notifikasi kapasitas penuh (≥80%) terkirim secara *real-time* ke *smartphone*. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem tersebut layak sebagai solusi pengelolaan sampah rumah tangga yang lebih efisien.

Kata Kunci: Internet of Things; ESP32; pemilah sampah; sensor proximity; Blynk-IoT

ABSTRACT

Low public awareness of manual waste separation leads to suboptimal recycling and increased landfill burden. This study designs and tests an IoT-based smart trash bin prototype that automatically detects, classifies, and sorts waste by material type while enabling remote capacity monitoring. Using a prototyping model, the system integrates an ESP32 microcontroller, inductive, capacitive, and infrared proximity sensors, HC-SR04 ultrasonic sensors, and SG-90 servo motors, with data displayed on the Blynk-IoT dashboard. Black box, path, and user acceptance testing confirmed all functional scenarios passed, with approximately 90% sorting accuracy and real-time full-capacity notifications (≥80%) sent to the user's smartphone. The results show that this integration is a feasible solution for more efficient household waste management.

Keywords: Internet of Things; ESP32; waste sorter; proximity sensor; Blynk-IoT

PENDAHULUAN

Penumpukan limbah padat telah menjadi permasalahan lingkungan yang bersifat global dan mendesak, termasuk di Indonesia. Kondisi ini semakin diperparah oleh pertumbuhan jumlah penduduk serta keterbatasan lahan yang tersedia untuk tempat pemrosesan akhir (TPA). Berdasarkan Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008, sampah didefinisikan sebagai sisa aktivitas manusia yang terdiri atas material organik maupun anorganik, baik yang mudah terurai maupun yang sulit terurai. (Yanti & Hastuti, 2023). Permasalahan utama yang dihadapi tidak hanya berkaitan dengan peningkatan volume sampah secara terus-menerus, tetapi juga rendahnya kesadaran dan kedisiplinan masyarakat dalam memilah sampah sejak dari sumbernya. Tidak terlaksananya pemilahan pada tahap awal menyebabkan material yang memiliki nilai ekonomi, seperti kertas dan plastik, terkontaminasi oleh limbah organik. Kondisi tersebut pada akhirnya membuat proses daur ulang menjadi lebih sulit dilakukan, membutuhkan biaya yang lebih besar, serta kurang efisien.

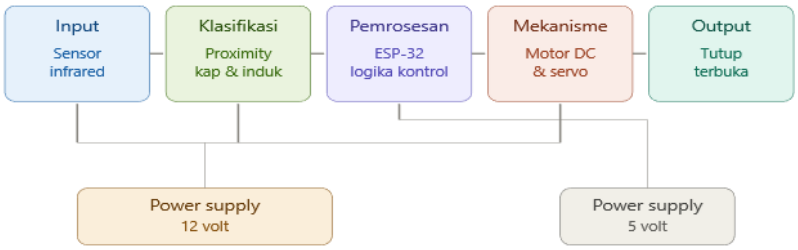
Sebagian besar fasilitas penampungan sampah yang digunakan masyarakat masih menggunakan model konvensional tanpa dilengkapi sistem pemilahan otomatis. Akibatnya, efektivitas pengelolaan sampah sangat bergantung pada tingkat kesadaran individu yang pada kenyataannya masih tergolong rendah. Sejumlah penelitian terdahulu telah menghasilkan berbagai rancangan smart bin berbasis Internet of Things (IoT). Rancangan tersebut meliputi sistem pemilahan sampah basah–kering yang menggunakan sensor gas dan notifikasi melalui platform Blynk, mesin pemilah sampah rumah tangga yang memisahkan material organik, anorganik, dan kaca dengan bantuan motor servo untuk mendukung produksi eco-enzyme serta kompos, prototipe sensorik khusus untuk memilah plastik, serta tempat sampah cerdas yang mengirimkan notifikasi melalui Telegram. Namun, penelitian-penelitian tersebut umumnya masih berfokus pada satu dimensi klasifikasi, misalnya basah/kering atau hanya plastik, atau menggunakan saluran notifikasi yang berbeda-beda. Kondisi ini memberikan peluang untuk mengembangkan sistem yang mengintegrasikan deteksi multi-sensor (infrared, induktif, kapasitif, dan ultrasonik) serta pemantauan kapasitas secara terpadu melalui satu dasbor Blynk-IoT. (Ramadhan & Puspitasa, 2023). Berdasarkan kesenjangan penelitian yang telah diidentifikasi, studi ini diarahkan pada dua tujuan utama. Pertama, merancang dan mengimplementasikan prototipe tempat sampah cerdas berbasis mikrokontroler ESP32 yang mampu memisahkan sampah organik dan anorganik secara otomatis sekaligus mendeteksi tingkat volume isian. Kedua, mengintegrasikan sistem tersebut dengan aplikasi Blynk-IoT untuk memungkinkan pemantauan jarak jauh secara real-time, sehingga pengelola maupun petugas kebersihan dapat memantau kondisi tempat sampah dari lokasi yang berbeda.

Secara umum, komposisi sampah rumah tangga di Indonesia masih didominasi oleh material organik, sedangkan sampah plastik dan kertas merupakan penyumbang utama dalam kategori anorganik. Tingginya proporsi limbah organik yang tidak dipilah sejak dari sumbernya menyebabkan proses pengomposan pada tahap pengelolaan akhir menjadi kurang optimal. Sementara itu, material anorganik yang tercampur dengan limbah basah mengalami penurunan nilai ekonomis sebagai bahan baku daur ulang. Kondisi ini menegaskan pentingnya pengembangan solusi pemilahan otomatis yang dapat diterapkan pada skala rumah tangga maupun kawasan permukiman sebagai titik intervensi awal dalam rantai pengelolaan sampah.

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) mendorong perubahan paradigma pengelolaan sampah dari pendekatan konvensional menuju sistem yang lebih adaptif dan berbasis data. Integrasi mikrokontroler berbiaya rendah, sensor multifungsi, serta

konektivitas nirkabel memungkinkan perangkat tempat sampah tidak lagi berfungsi secara pasif, tetapi mampu mengenali, mengklasifikasikan, dan melaporkan kondisinya secara mandiri. Perkembangan tersebut sejalan dengan konsep lingkungan cerdas (smart environment), yang menempatkan pengelolaan limbah sebagai salah satu bidang penerapan IoT dengan manfaat yang dapat dirasakan secara langsung oleh masyarakat, terutama dalam menjaga kebersihan dan kesehatan lingkungan permukiman.

Diagram blok arsitektur sistem tempat sampah pintar menunjukkan alur kerja secara menyeluruh, mulai dari tahap deteksi hingga proses buka-tutup. Proses dimulai dengan masukan dari sensor infrared yang mendeteksi keberadaan objek di sekitar tempat sampah. Data yang diperoleh kemudian diklasifikasikan melalui modul proximity kapasitif dan induktif untuk menentukan status kedekatan objek. Hasil klasifikasi selanjutnya diteruskan ke unit pemrosesan ESP-32 yang menjalankan logika kontrol utama sistem. Berikutnya, ESP-32 mengirimkan perintah ke mekanisme penggerak berupa motor DC dan servo untuk menggerakkan tutup tempat sampah. Keluaran akhir berupa terbukanya tutup tempat sampah secara otomatis sesuai dengan perintah yang diberikan. Sistem ini didukung oleh dua sumber daya yang terpisah, yaitu power supply 12 volt untuk menyuplai sensor, modul klasifikasi, dan motor, serta power supply 5 volt yang secara khusus menyediakan daya stabil bagi mikrokontroler ESP-32.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Pemilah dan Pemantau Sampah
Sumber: diolah penulis berdasarkan hasil kinerja sensor

TINJAUAN PUSTAKA

Kajian mengenai sistem pemilahan sampah otomatis berbasis Internet of Things (IoT) terus berkembang melalui penggunaan berbagai pendekatan sensor dan platform pemantauan. Ulasan berikut membahas sejumlah penelitian yang relevan untuk memperjelas posisi kontribusi penelitian ini.

Mikrokontroler ESP32 merupakan system on chip (SoC) terintegrasi yang dilengkapi dengan modul Wi-Fi standar 802.11 b/g/n dan Bluetooth versi 4.2, serta berbagai periferal pendukung. Komponen ini telah mengintegrasikan prosesor, memori penyimpanan, dan akses langsung ke pin GPIO (General Purpose Input Output), sehingga berfungsi sebagai unit pemrosesan utama (the brain of the system) dalam perancangan sistem elektronik dan otomatisasi berbasis IoT. Konektivitas nirkabel yang telah terintegrasi menjadikan ESP32 sebagai pilihan yang banyak digunakan dalam proyek IoT berskala kecil hingga menengah karena tidak membutuhkan modul komunikasi tambahan.

Sensor proximity induktif bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Kumparan di dalam sensor menghasilkan medan magnet berfrekuensi tinggi yang mengalami gangguan ketika benda logam mendekat, sehingga menghasilkan sinyal logika

yang dapat dibaca oleh mikrokontroler untuk mengenali material logam. Sementara itu, sensor proximity kapasitif mendeteksi perubahan medan elektrostatik atau kapasitansi di sekitar permukaan sensor. Oleh karena itu, sensor ini dapat mengenali material non-logam dengan konstanta dielektrik rendah, seperti plastik, maupun material dengan konstanta dielektrik tinggi, seperti bahan organik. Adapun sensor infrared memancarkan sinar inframerah dan mendeteksi pantulannya ketika terdapat objek di depan sensor. Fungsi utamanya adalah sebagai pemicu awal untuk mendeteksi keberadaan sampah sebelum proses klasifikasi material dilanjutkan.

Sensor ultrasonik dan motor servo. Sensor ultrasonik HC-SR04 bekerja dengan cara memancarkan gelombang suara melalui pin trigger dan menangkap pantulannya melalui pin echo untuk mengukur jarak objek. Karena kemampuannya tersebut, sensor ini banyak dimanfaatkan dalam pemantauan tingkat ketinggian maupun kapasitas isi wadah secara real-time. Sementara itu, motor servo SG-90 merupakan aktuator yang memiliki kontrol posisi dengan tingkat presisi tinggi, dikendalikan melalui sinyal PWM (Pulse Width Modulation) yang berasal dari mikrokontroler. Dalam kerangka penelitian ini, motor tersebut berperan menggerakkan penutup wadah organik dan anorganik sesuai dengan hasil klasifikasi yang dihasilkan oleh sensor.

Platform Blynk-IoT. Platform Blynk-IoT menyederhanakan proses pengembangan solusi berbasis Internet of Things melalui integrasi tiga komponen inti. Pertama, Blynk App berfungsi sebagai antarmuka visual yang memungkinkan pengguna melakukan pemantauan perangkat secara real-time melalui beragam widget. Kedua, Blynk Cloud berperan sebagai pusat data yang menghubungkan aplikasi dengan perangkat keras. Ketiga, Blynk Library yang tertanam pada mikrokontroler mengelola komunikasi internet. Dengan arsitektur tersebut, data sensor dapat dikirim dan divisualisasikan langsung pada perangkat seluler pengguna tanpa harus membangun server maupun aplikasi mobile secara mandiri.

Sistem berbasis kategori basah-kering. Dari (Fitriyah, 2023) Penelitian tersebut mengembangkan smart dustbin berbasis Internet of Things (IoT) yang berfungsi menyortir sampah basah dan kering dengan dukungan aplikasi Blynk-IoT. Sistem dilengkapi sensor gas serta buzzer sebagai mekanisme peringatan dini terhadap keberadaan asap di sekitar area penampungan. Meskipun mampu memantau ketinggian sampah secara real-time dengan efektif, klasifikasi material yang diterapkan masih terbatas pada dua kategori umum (basah/kering) dan belum membedakan jenis material spesifik seperti logam. Akibatnya, sistem berpotensi kurang akurat ketika menghadapi sampah anorganik campuran.

Sistem berbasis motor servo multi-kompartemen. merancang mesin pemilah sampah rumah tangga dengan tiga kategori—organik, anorganik, dan kaca—berbasis motor servo dan sensor, berorientasi pada pemanfaatan hasil pemilahan menjadi eco-enzyme dan kompos. Penelitian ini memperluas cakupan kategori material, tetapi tidak membahas integrasi monitoring jarak jauh sebagai bagian dari sistem, sehingga pemantauan kondisi alat tetap bergantung pada pengecekan langsung.

Sistem sensorik untuk material tunggal. (Nizam et al., 2022) mengembangkan prototipe sensorik berbasis IoT yang berfokus khusus pada pemilahan sampah plastik, dengan penekanan dan penyimpanan data jumlah sampah yang masuk. Pendekatan ini efektif untuk kasus spesifik (plastik), namun tidak dirancang untuk mengenali variasi material lain seperti logam atau sampah organik dalam satu sistem terpadu.

Sistem dengan notifikasi berbasis pesan instan. (Safitri et al., 2023) merancang tempat sampah cerdas berbasis IoT dengan mekanisme buka-tutup otomatis dan notifikasi melalui Telegram. Penggunaan Telegram memberikan alternatif kanal notifikasi yang ringan, tetapi tidak menyediakan visualisasi dasbor interaktif sebagaimana yang ditawarkan platform seperti Blynk-IoT untuk pemantauan tren kapasitas secara berkelanjutan.

Kajian konseptual pemilahan sampah cerdas. (Ramadhan & Puspitasa, 2023) serta (Yanti & Hastuti, 2023) menegaskan bahwa kegagalan pemilahan di tingkat hulu merupakan akar utama rendahnya efisiensi daur ulang, dan merekomendasikan integrasi sensor proximity serta konektivitas IoT sebagai solusi. Kedua kajian ini bersifat konseptual/tinjauan dan belum disertai purwarupa fungsional yang teruji secara menyeluruh di lapangan.

Posisi dan kebaruan penelitian. Berdasarkan telaah di atas, penelitian-penelitian terdahulu cenderung membatasi klasifikasi pada satu atau dua kategori material, tidak selalu mengintegrasikan monitoring kapasitas dan notifikasi dalam satu platform yang sama, atau berhenti pada tahap konsep tanpa pengujian fungsional yang komprehensif. Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut dengan mengombinasikan empat jenis sensor (infrared, proximity induktif, proximity kapasitif, dan ultrasonik ganda) untuk klasifikasi tiga kategori material (organik, anorganik non-logam, dan logam) sekaligus mengintegrasikan monitoring kapasitas dan notifikasi real-time dalam satu dasbor Blynk-IoT, serta memvalidasi sistem melalui pengujian black box, path testing, dan User Acceptance Testing secara berjenjang.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian perancangan dan pengembangan (*research and development*) yang menghasilkan purwarupa (*prototype*) tempat sampah pintar berskala rumah tangga. Penelitian dilaksanakan di lingkungan Sekretariat Kp. Jati RT 02/RW 08, Kec. Tambun Selatan, Kab. Bekasi, mulai Januari 2026 (Fitriyah, 2023).

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui: (1) studi literatur terhadap jurnal dan publikasi terkait IoT, sensor proximity, mikrokontroler ESP32, dan platform Blynk-IoT; (2) observasi langsung terhadap praktik pemilahan sampah manual di lokasi penelitian; dan (3) eksperimen serta pengujian terhadap sensor, aktuator, dan sistem secara keseluruhan.
Metode pengembangan menggunakan model *prototyping* dengan lima tahap iteratif: komunikasi (analisis kebutuhan), perencanaan cepat (penentuan komponen utama), pemodelan cepat (perancangan diagram blok dan *flowchart*), konruksi (perakitan perangkat keras dan pemrograman), serta penerapan dan evaluasi (pengujian performa) (Yanti & Hastuti, 2023).

Perangkat keras yang digunakan meliputi mikrokontroler ESP32 sebagai unit kendali utama; sensor *proximity* infrared sebagai pemicu deteksi objek awal; sensor *proximity* induktif untuk mengidentifikasi material logam; sensor *proximity* kapasitif untuk mendeteksi material non-logam; dua sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur ketinggian tumpukan sampah pada masing-masing wadah; serta dua motor servo SG-90 sebagai aktuator pembuka-penutup wadah organik dan anorganik . Sistem diberi daya melalui *power supply* 12V dan 5V, dan diprogram menggunakan Arduino IDE dengan pustaka WiFi.h, BlynkSimpleEsp32.h, dan ESP32Servo.h (Safitri et al., 2023).

Teknik analisis data dilakukan melalui pengujian fungsional dengan pendekatan *black box testing* untuk memverifikasi kesesuaian input-output tiap komponen, *path testing* untuk menelusuri tiga jalur logika klasifikasi (logam, non-logam/anorganik, dan organik), serta *User Acceptance Testing* (UAT) bersama pengurus lingkungan untuk menilai kesesuaian sistem dengan kebutuhan operasional di lapangan. Hasil pengujian dikategorikan *valid/teruji* atau *pass/fail* berdasarkan kesesuaian antara hasil aktual dan hasil yang diharapkan (Nizam et al., 2022).

Alat dan bahan. Rincian komponen perangkat keras beserta jumlah yang digunakan dalam perakitan prototipe disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat dan Bahan Penelitian

No	Nama Alat / Bahan	Jumlah
1	Mikrokontroler ESP32	1
2	Sensor Proximity Infrared	1
3	Sensor Proximity Induktif	1
4	Sensor Proximity Kapasitif	1
5	Sensor Ultrasonik HC-SR04	2
6	Motor Servo SG-90	2
7	Kabel Jumper Male to Female	2
8	Adaptor 5V dan 12V	2
9	Power Supply	1
10	Breadboard	1

Sumber : (Hasil data Penelitian Penulis)

Prosedur pengujian akurasi. Tingkat akurasi pemilahan dihitung menggunakan persamaan: Akurasi (%) = (jumlah sampah terklasifikasi benar / jumlah total percobaan) x 100%. Pengujian dilakukan melalui 30 kali percobaan pemasukan sampah untuk masing-masing kategori material (logam, non-logam/anorganik, dan organik), sehingga total terdapat 90 kali percobaan pemilahan yang dicatat hasilnya secara manual dan dibandingkan dengan label aktual jenis sampah yang dimasukkan. Pengujian dilakukan pada kondisi pencahayaan dan suhu ruangan normal untuk menjaga konsistensi pembacaan sensor.

Diagram alir sistem. Alur kerja sistem secara keseluruhan mengikuti logika sekuensial sebagai berikut: (1) sistem berada pada kondisi siaga (standby) menunggu deteksi objek; (2) sensor infrared mendeteksi keberadaan sampah pada bagian inlet; (3) sistem menahan pembacaan selama beberapa detik untuk memastikan objek tidak sekadar melintas; (4) sensor proximity induktif dan kapasitif membaca karakteristik material secara berurutan sesuai jalur logika (logam → non-logam → organik); (5) mikrokontroler ESP32 menentukan kompartemen tujuan dan mengirim sinyal PWM ke motor servo terkait; (6) servo membuka penutup wadah selama durasi tertentu kemudian kembali menutup; dan (7) data ketinggian dari sensor ultrasonik dikirim secara berkala ke Blynk Cloud untuk diperbarui pada dasbor aplikasi. Apabila objek ditarik kembali sebelum proses identifikasi selesai, sistem membatalkan proses dan kembali ke kondisi siaga tanpa menggerakkan aktuator, sehingga mencegah kesalahan pemilahan akibat sampah yang belum sepenuhnya berada pada jangkauan sensor.

Instrumen dan variabel pengujian. Variabel yang diukur dalam penelitian ini meliputi: (a) status keberhasilan deteksi objek oleh sensor infrared; (b) ketepatan klasifikasi material oleh sensor proximity induktif dan kapasitif dibandingkan dengan label aktual; (c) akurasi

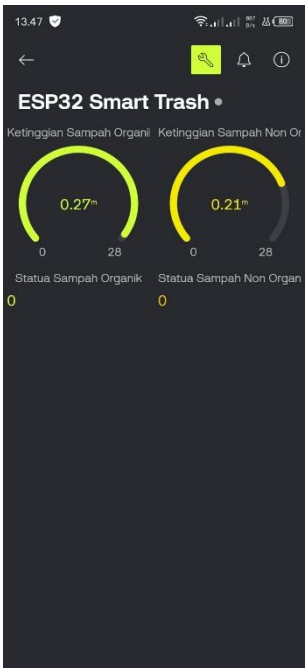
pembacaan ketinggian oleh sensor ultrasonik dibandingkan pengukuran manual menggunakan penggaris; (d) waktu respons mekanisme servo dari saat sinyal dikirim hingga penutup terbuka penuh; dan € keberhasilan pengiriman serta kemunculan notifikasi pada aplikasi Blynk-IoT dalam rentang waktu kurang dari 5 detik sejak kapasitas melewati ambang batas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Arsitektur dan implementasi sistem. Sistem bekerja melalui lima tahap: deteksi awal oleh sensor infrared, klasifikasi material oleh sensor proximity kapasitif dan induktif, pemrosesan data oleh ESP32, penggerakan mekanisme oleh motor servo, dan penutupan wadah kembali ke posisi semula. Logika klasifikasi diverifikasi melalui tiga jalur pengujian: jalur objek logam (IR aktif → induktif aktif), jalur anorganik non-logam (IR aktif → induktif tidak aktif → kapasitif aktif), dan jalur organik (IR aktif → induktif dan kapasitif tidak aktif), yang seluruhnya dinyatakan valid.

Hasil pengujian fungsional. Pengujian *black box* terhadap lima komponen utama—sensor infrared, sensor proximity induktif, sensor proximity kapasitif, sensor ultrasonik, serta konektivitas Wi-Fi dan Blynk-IoT—seluruhnya berstatus *teruji/valid*. Skenario UAT terhadap lima modul (deteksi sampah masuk, pemilahan logam, pemilahan non-logam, pemantauan kapasitas, dan notifikasi *smartphone*) juga seluruhnya berstatus *pass*. Temuan ini konsisten dengan penelitian yang juga melaporkan keberhasilan integrasi Blynk-IoT untuk pemantauan kapasitas sampah secara *real-time*, namun penelitian ini memperluas cakupan klasifikasi dengan menambahkan deteksi material logam melalui sensor induktif—aspek yang tidak dibahas pada penelitian penyortiran basah-kering sebelumnya.

Akurasi dan performa. Sistem mencapai akurasi pemilahan sekitar 90% sesuai jenis material yang terdeteksi. Sensor ultrasonik terbukti efektif mengukur ketinggian tumpukan hingga ambang kritis ≥80%, yang secara otomatis mengubah status pada dasbor Blynk dari "Aman/Siaga" menjadi peringatan "Kapasitas Penuh – Segera Kosongkan!" disertai notifikasi *push* ke *smartphone*.



Gambar 2. Dasbor Monitoring Sampah Aplikasi Blynk-IoT
Sumber : dibuat penulis berdasarkan setiap sampah yang dibuang

Pengamatan operasional menunjukkan aktivitas pembuangan meningkat pada pagi dan sore hari, sementara kestabilan pengiriman data ke Blynk-IoT sedikit terpengaruh pada kondisi trafik jaringan Wi-Fi lokal padat, meski masih dalam batas toleransi sistem.

Perbandingan dengan sistem konvensional. Berbeda dengan sistem konvensional yang sepenuhnya bergantung pada kesadaran manual dan pengecekan fisik berkala oleh petugas, sistem yang dikembangkan menghilangkan kebutuhan intervensi manusia pada tahap pemilahan sekaligus menyediakan visibilitas kondisi tempat sampah secara jarak jauh. Hal ini sejalan dengan argumen (Ramadhan & Puspitasa, 2023) bahwa kegagalan pemilahan di tingkat hulu merupakan akar masalah utama rendahnya efisiensi daur ulang, sehingga otomasi pada titik pembuangan awal—sebagaimana diterapkan dalam penelitian ini—berpotensi memutus akar masalah tersebut secara lebih langsung dibanding pendekatan edukasi semata.

Tabel 2. Hasil Pengujian Black Box

No	Komponen/Fitur	Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Status
1	Sensor Infrared (IR)	Menaruh tangan/objek di depan sensor IR	Tutup wadah terbuka otomatis melalui motor servo	Valid
2	Sensor Proximity Induktif	Memasukkan benda logam (kaleng aluminium)	Sistem mengenali sampah logam dan mengarahkan ke wadah logam	Valid
3	Sensor Proximity Kapasitif	Memasukkan benda non-logam (botol plastik/organik)	Sistem mendeteksi material non-logam dengan akurat	Valid
4	Sensor Ultrasonik	Mengisi tempat sampah hingga ≥80%	Sensor mendeteksi ketinggian isi dan memicu pengiriman data ke Blynk	Valid
5	Koneksi Wi-Fi & Blynk-IoT	Menghubungkan ESP32 ke jaringan internet	Notifikasi dan status pemilahan tampil real-time di smartphone	Valid

Sumber : (Hasil data penelitian penulis)

Tabel 3. Hasil User Acceptance Testing (UAT)

No	Modul/Fitur	Skenario (Aksi Pengguna)	Ekspektasi Hasil	Status
1	Deteksi Sampah Masuk	Mendekatkan tangan/membuang sampah ke inlet	Sensor IR mendeteksi objek, servo membuka tutup otomatis	Valid
2	Pemilahan Sampah Logam	Memasukkan benda logam	Sensor induktif aktif, sampah diarahkan ke wadah logam	Valid
3	Pemilahan Sampah Non-Logam	Memasukkan benda plastik/non-logam	Sensor kapasitif aktif, sampah diarahkan ke wadah anorganik	Valid
4	Pemantauan Kapasitas	Wadah diisi hingga ≥80%	Sensor ultrasonik membaca jarak, data dikirim ke cloud	Valid
5	Notifikasi Smartphone	Mengecek aplikasi saat kapasitas penuh	Notifikasi status penuh muncul di aplikasi Blynk	Valid

Sumber : (Hasil data penelitian penulis).

Akurasi per kategori material. Dari total 90 kali percobaan (30 percobaan untuk setiap kategori), sistem berhasil mengklasifikasikan sampah logam dan organik dengan tingkat keberhasilan yang konsisten tinggi. Sementara itu, sebagian kecil kesalahan klasifikasi ditemukan pada sampah anorganik non-logam berukuran kecil atau bertekstur tipis, misalnya potongan plastik kemasan, yang terkadang tidak cukup memengaruhi medan kapasitif sensor sehingga tidak terdeteksi secara konsisten. Meskipun demikian, rata-rata akurasi keseluruhan tetap berada pada kisaran 90%, sejalan dengan hasil pengujian pada tahap purwarupa sebelumnya.

Tabel 4. Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian	Kategori Material	Platform Monitoring	Notifikasi	Fokus Utama
Dari dkk. (2024)	Basah / Kering	Blynk-IoT	Push (kapasitas)	Deteksi asap & kelembapan
Fitriyah dkk. (2023)	Organik/Anorganik/Kaca	Tidak ada	Tidak ada	Produksi eco-enzyme & kompos
Ardyani F. E. (2022)	Umum (tanpa klasifikasi material)	Telegram	Push (kapasitas)	Buka-tutup otomatis
Penelitian ini	Organik / Anorganik non-logam / Logam	Blynk-IoT	Push real-time (kapasitas)	Klasifikasi multi-material + monitoring terintegrasi

Sumber : (Hasil data penetlitian penulis).

Keterbatasan penelitian. Penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan yang perlu diperhatikan pada pengembangan lanjutan. Pertama, pengujian akurasi baru dilakukan dalam kondisi laboratorium/rumah tangga dengan jumlah sampel terbatas (90 percobaan) dan belum mencakup variasi cuaca atau penempatan luar ruangan dalam jangka panjang. Kedua, klasifikasi material masih terbatas pada tiga kategori umum sehingga belum mampu membedakan subjenis plastik atau logam secara spesifik. Ketiga, kestabilan pengiriman data ke Blynk Cloud bergantung pada kualitas jaringan Wi-Fi lokal, sehingga pada lokasi dengan konektivitas terbatas notifikasi dapat mengalami jeda. Keempat, pengujian UAT baru melibatkan pengurus lingkungan dalam skala terbatas dan belum mencerminkan variasi perilaku pengguna dalam populasi yang lebih luas.

Pola penggunaan berdasarkan waktu. Pengamatan operasional selama masa pengujian menunjukkan bahwa aktivitas pembuangan sampah meningkat pada pagi dan sore hari, sesuai dengan pola rutinitas rumah tangga di lingkungan penelitian. Pada jam-jam tersebut, motor servo bekerja secara lebih intensif untuk membuka dan menutup jalur pemilahan, namun tidak ditemukan indikasi penurunan performa mekanis maupun keterlambatan respons akibat frekuensi penggunaan yang meningkat dalam rentang waktu pengujian yang dilakukan.

Antarmuka dasbor monitoring. Dasbor aplikasi Blynk-IoT menampilkan indikator visual berbentuk gauge yang merepresentasikan persentase ketinggian tumpukan sampah secara real-time. Ketika kapasitas mencapai ambang kritis, indikator ini berubah warna sebagai peringatan visual, disertai perubahan label status teks dari "Aman/Siaga" menjadi

"Kapasitas Penuh - Segera Kosongkan!". Kombinasi indikator visual dan notifikasi push terbukti memudahkan pengguna memahami kondisi tempat sampah tanpa perlu melakukan pengecekan fisik secara langsung, sehingga mengurangi waktu dan tenaga yang sebelumnya dibutuhkan pada model pengelolaan konvensional.

Implikasi terhadap pengelolaan sampah berbasis komunitas. Dari sisi pengelolaan lingkungan, otomasi pemilahan pada titik pembuangan awal berpotensi mengurangi beban kerja petugas kebersihan dalam memilah ulang sampah campuran, sekaligus meningkatkan kualitas material anorganik yang dapat dijual atau didaur ulang karena tidak terkontaminasi limbah organik. Jika direplikasi pada beberapa titik pengumpulan dalam satu wilayah RT/RW, data kapasitas dari setiap unit dapat diagregasi untuk membantu penjadwalan pengangkutan sampah yang lebih efisien, alih-alih menggunakan jadwal tetap yang tidak mempertimbangkan variasi volume sampah aktual di lapangan.

Implementasi kode program. Logika pemrograman pada mikrokontroler ESP32 dirancang menggunakan Arduino IDE dengan memanfaatkan pustaka WiFi.h dan BlynkSimpleEsp32.h untuk komunikasi nirkabel, serta ESP32Servo.h untuk mengendalikan motor servo. Program menggunakan konstanta pin untuk setiap sensor (infrared, kapasitif, dan induktif), serta pin trigger/echo untuk kedua sensor ultrasonik. Hal ini memudahkan penyesuaian konfigurasi perangkat keras tanpa perlu mengubah struktur logika utama. Untuk mempertahankan responsivitas sistem, program dijalankan melalui dua task RTOS (Real-Time Operating System) yang bekerja pada inti prosesor terpisah. Task pertama menangani logika pemilahan sampah secara lokal (offline-first), sehingga mekanisme servo tetap responsif meskipun koneksi internet terputus. Sementara itu, task kedua mengelola komunikasi dengan Blynk Cloud dan melakukan pembacaan sensor ultrasonik secara berkala. Penerapan dua task tersebut memastikan bahwa gangguan atau keterlambatan jaringan Wi-Fi tidak menghambat fungsi utama pemilahan sampah, meskipun fitur pemantauan jarak jauh dapat mengalami penundaan.

Keandalan mekanis jangka pendek. Selama periode pengujian, motor servo yang berfungsi sebagai aktuator penutup wadah tidak menunjukkan gejala keausan, macet, atau pergeseran sudut bukaan yang signifikan meskipun dioperasikan berulang kali dalam sehari. Sambungan kabel jumper pada breadboard sesekali memerlukan pengecekan ulang akibat pergeseran posisi fisik boks komponen, sehingga pada implementasi produksi disarankan penggantian breadboard dengan PCB tercetak (printed circuit board) permanen guna meningkatkan keandalan sambungan dalam penggunaan jangka panjang.

Estimasi kelayakan komponen. Komponen utama yang digunakan—mikrokontroler ESP32, sensor proximity, sensor ultrasonik, dan motor servo—tergolong komponen elektronik dengan harga terjangkau dan mudah diperoleh di pasaran elektronik dalam negeri. Karakteristik ini mendukung potensi replikasi sistem pada skala rumah tangga maupun komunitas RT/RW dengan biaya investasi awal yang relatif rendah dibandingkan sistem pemilah sampah otomatis skala industri yang umumnya memerlukan sensor optik atau kamera pengenalan citra dengan biaya jauh lebih tinggi.

Mekanisme validasi objek. Untuk mengurangi kesalahan pemilahan akibat objek yang hanya melintas sesaat di depan sensor, program menerapkan jeda identifikasi selama tiga detik setelah sensor infrared aktif sebelum sistem membaca status sensor proximity induktif dan kapasitif. Apabila selama jeda tersebut sensor infrared kembali ke kondisi tidak aktif, proses dibatalkan secara otomatis dan sistem kembali ke kondisi siaga. Mekanisme validasi

berlapis ini terbukti efektif menekan kesalahan klasifikasi yang disebabkan oleh gerakan tangan pengguna yang hanya mendekat tanpa benar-benar membuang sampah.

PENUTUP

Penelitian ini berhasil merancang dan mengembangkan prototipe tempat sampah pintar berbasis ESP32 yang mengintegrasikan sensor infrared, proximity induktif, proximity kapasitif, dan ultrasonik untuk mendeteksi serta memisahkan sampah organik dan anorganik secara otomatis dengan tingkat akurasi sekitar 80%. Integrasi sistem dengan platform Blynk-IoT terbukti mampu menyediakan pemantauan kapasitas tempat sampah secara real-time serta memberikan notifikasi otomatis ketika kapasitas mencapai ambang kritis. Dengan demikian, sistem ini telah menjawab kedua rumusan masalah penelitian yang berkaitan dengan kemampuan pemilahan otomatis dan pemantauan jarak jauh. Seluruh pengujian black box, path testing, dan UAT menunjukkan hasil yang valid, sehingga mengindikasikan bahwa sistem layak diterapkan sebagai solusi pengelolaan sampah rumah tangga berskala kecil.

Sebagai implikasi praktis, sistem ini dapat direplikasi pada skala RT/RW untuk mengurangi kontaminasi antara sampah organik dan anorganik sejak dari sumbernya. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan penambahan sensor berat guna memperoleh pengukuran kapasitas yang lebih presisi, penggunaan panel surya sebagai sumber daya mandiri untuk penempatan di luar ruangan, perluasan notifikasi melalui pesan atau surel, serta integrasi teknologi pengenalan citra berbasis kecerdasan buatan untuk memperluas variasi jenis sampah yang dapat diklasifikasikan.

Selain itu, kajian kelayakan biaya (cost-benefit) untuk produksi dalam skala yang lebih besar serta uji coba lapangan secara paralel di beberapa titik RT/RW disarankan sebagai langkah lanjutan. Upaya tersebut diperlukan untuk memvalidasi keandalan sistem dalam kondisi lingkungan dan pola penggunaan yang lebih beragam sebelum sistem dipertimbangkan untuk direplikasi secara lebih luas oleh pemerintah desa/kelurahan setempat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak Universitas Muhammadiyah Bekasi Karawang, khususnya Program Studi Teknik Informatika, atas dukungan fasilitas dan bimbingan akademik selama proses penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pengurus lingkungan Sekretariat RT 02/RW 08 Kec. Tambun Selatan, Kab. Bekasi, atas izin dan kerja sama yang diberikan selama tahap observasi, implementasi, dan pengujian prototipe di lokasi penelitian, serta kepada seluruh pihak yang telah membantu proses penelitian baik secara ilmu, moral, maupun keterlibatan langsung di lapangan.

REFERENSI

April, V. N., Rustandi, A. M., Mahardika, F., & Junaedi, D. I. (2026). Systematic Literature Review Sistem Pemilah Sampah Otomatis Berbasis Sensor Proximity dengan Notifikasi Kapasitas Penuh pertumbuhan populasi dan aktivitas manusia yang semakin kompleks (Susanti , Gunoto , dan sistem monitoring kapasitas secara real-time . April.

Dari, N. W., Suharjo, I., Mercu, U., Yogyakarta, B., Sleman, K., & Informasi, F. T. (2024). Smart Dustbin Penyortiran Sampah Basah Dan Kering Berbasis IOT Menggunakan Aplikasi Blynk. Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi, 11(4), 157–170.

Fitriyah, et al. (2023). Rancangan Mesin Cerdas Pemilah Sampah Rumah Tangga Organik, Anorganik, dan Kaca Berbasis Motor Servo dan Sensor untuk Menghasilkan Eco-Enzyme dan Kompos. In Artikel Ilmiah Nurul (Vol. 5, Issue 2, pp. 25–33).

Nizam, M. N., Haris Yuana, & Zunita Wulansari. (2022). Mikrokontroler Esp 32 Sebagai Alat Monitoring Pintu Berbasis Web. JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika), 6(2), 767–772. https://doi.org/10.36040/jati.v6i2.5713

Ramadhan, R., & Puspitasa, N. feby. (2023). Intelligent waste sorting prototype based internet of things. Jurnal Elektrosista, 10(2), 108–127.

Safitri, A., Santosa, I., Sutopo, A., Ahyanti, M., Lingkungan, J. K., & Tanjungkarang, K. (2023). Internet of Things (IoT) System for Plastic-Sorting Sensory Device Sistem Internet of Things (IoT) untuk Alat Sensorik Pemilah Plastik. Open Science and Technology, 03(01), 2776–169.

Yanti, W. S., & Hastuti, H. (2023). Rancang Bangun Alat Pemisah Sampah Cerdas Berbasis Internet of Things. JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia, 4(2), 538–546. https://doi.org/10.24036/jtein.v4i2.420