PEMANFAATAN INTERNET OF THINGS (IOT) PADA SISTEM TEMPAT SAMPAH PINTAR UNTUK MONITORING KAPASITAS SECARA REAL-TIME

Susan Siti Nurhaliza* dan Muhammad Yusuf Royhan

Universitas Cendekia Abditama
Jl. Islamic Raya, Klp. Dua, Kec. Klp. Dua, Kabupaten Tangerang, Banten 15811
susan@uca.ac.id , Royhan@uca.ac.id,
*Corresponding Author

ABSTRAK

Pengelolaan sampah yang tidak efektif masih menjadi masalah utama di berbagai daerah, terutama akibat keterbatasan sistem pemantauan kapasitas tempat sampah. Penumpukan sampah sering terjadi karena petugas kebersihan tidak memiliki informasi secara langsung mengenai kondisi kapasitas yang sudah penuh. Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini mengusulkan pemanfaatan teknologi Internet of Things (IoT) pada sistem tempat sampah pintar (smart trash) yang mampu melakukan monitoring kapasitas secara real-time. Sistem dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur volume sampah, serta aplikasi Blynk sebagai antarmuka pengguna. Data kapasitas dikirimkan melalui koneksi nirkabel dan divisualisasikan pada aplikasi sehingga pengguna maupun petugas kebersihan dapat menerima notifikasi ketika tempat sampah telah mencapai batas tertentu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan informasi kapasitas dengan akurasi di atas 95% serta notifikasi yang dapat diterima secara andal. Dengan demikian, sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah, mempermudah pengaturan jadwal pengangkutan, dan berkontribusi pada terciptanya lingkungan yang bersih dan berkelanjutan.

Kata Kunci: *Smart Trash, Internet of Things, Monitoring Kapasitas, ESP32, Blynk.*

PENDAHULUAN

Permasalahan pengelolaan sampah masih menjadi isu penting di berbagai daerah, terutama di kawasan perkotaan yang memiliki tingkat produksi sampah tinggi. Pencampuran antara sampah organik dan anorganik sering kali menyebabkan penurunan efektivitas daur ulang, sementara keterbatasan infrastruktur pengangkutan mengakibatkan penumpukan yang dapat mencemari lingkungan [1]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan inovasi dalam sistem pemantauan dan pengelolaan sampah yang lebih efisien. Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan adalah pemanfaatan teknologi Internet of Things (IoT) pada sistem tempat sampah pintar (*smart trash*) yang mampu melakukan pemantauan kapasitas secara real-time [2]. Teknologi ini memungkinkan pengelola kebersihan memperoleh informasi aktual mengenai kondisi kapasitas tempat sampah, sehingga pengangkutan dapat dilakukan lebih cepat, tepat, dan efisien.

Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa integrasi IoT dengan sensor mampu memberikan solusi yang lebih efektif dalam pemilahan maupun pemantauan sampah. Studi pada [3] menunjukkan penerapan sensor kelembaban dan logam dalam prototipe tempat sampah pintar, namun masih terbatas pada tampilan lokal. Penelitian lain pada [4] memanfaatkan NodeMCU ESP8266 sebagai pengendali, meskipun belum dilengkapi fitur pemantauan kapasitas. Kajian pada [5] menambahkan sensor ultrasonik untuk mendeteksi volume sampah, tetapi integrasi dengan aplikasi *real-time* masih menjadi kendala. Sementara itu, penelitian pada [6] mengusulkan penggunaan aplikasi Blynk sebagai antarmuka monitoring, namun akurasi sensor dalam mendeteksi kapasitas masih perlu ditingkatkan, selain itu

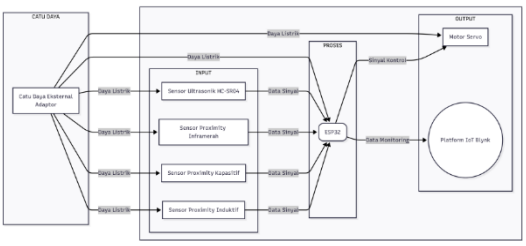
penelitian lain [7] mengusulkan sistem pengelolaan sampah cerdas yang dilengkapi mekanisme pelacakan limbah dan pemisahan otomatis (sorting) berbasis Internet of Things (IoT). Sistem tersebut dirancang untuk memantau pergerakan dan jenis sampah secara real-time, sehingga dapat meningkatkan efisiensi pengumpulan dan pengolahan limbah domestik. . Dari hasil-hasil penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa teknologi *smart trash* sudah mengarah pada pemanfaatan IoT dengan integrasi sensor dan platform monitoring, tetapi penerapan yang optimal untuk sistem notifikasi real-time dan efisiensi pengelolaan masih memerlukan pengembangan lebih lanjut.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem tempat sampah pintar berbasis IoT yang mampu memberikan informasi kapasitas secara real-time dan mengirimkan notifikasi otomatis kepada pengguna atau petugas kebersihan. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan sampah, mencegah penumpukan, serta mendukung upaya menjaga kebersihan dan keberlanjutan lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan metode pengembangan prototipe. Tahapan penelitian diawali Perancangan Perangkat Keras dan Perancangan Perangkat Lunak,

Perancangan Hardware



Gambar 1. *Perancangan hardware*

Input

a. Sensor Ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk mengukur jarak antara permukaan sampah dan tutup wadah. Nilai jarak dikonversi menjadi persentase kapasitas terisi. Sensor ini tidak berfungsi sebagai pengukur kapasitas secara langsung, tetapi sebagai detektor jarak yang menentukan tingkat keterisian wadah. [8]

b. Sensor Proximity Inframerah (IR) Berfungsi untuk mendeteksi keberadaan objek di mulut tempat sampah. Prinsip kerja sensor IR adalah memanfaatkan pantulan cahaya inframerah dari objek yang kemudian ditangkap oleh fotodioda atau fototransistor [9], berikut adalah rumus 1 tegangan keluaran.

$$Vout = Vcc.\frac{R}{R + Rphoto(d)} \quad (1)$$

Ket :
V_{out} = tegangan keluaran (Volt)
I_{ph} = arus foton yang dihasilkan oleh cahaya inframerah
R_L = resistansi beban (Ohm)

c. Sensor Proximity Kapasitif Sensor ini digunakan untuk mendeteksi keberadaan objek non-logam atau material dengan konstanta dielektrik tinggi, Prinsipnya adalah perubahan kapasitansi akibat variasi permitivitas Perubahan kapasitansi saat objek (dengan permitivitas relatif εr\varepsilon_rεr) mendekat [10] dengan rumus berikut:

$$C = \varepsilon_0 . \varepsilon_r . \frac{A}{d} \quad (2)$$

C = kapasitansi (Farad)
ε_r = permitivitas relatif bahan
ε_0=permitivitas vakum (8.85×10^{-12} F/m)
A= luas pelat sensor (m^2)
d = Jarak antar plat (m)

ESP32 mengukur waktu *charging* RC ke ambang komparator:

$$t_{50\%} \approx 0{,}693\ C$$

d. Sensor Proximity Induktif Berfungsi untuk mendeteksi keberadaan material logam melalui perubahan

medan elektromagnetik yang dihasilkan oleh koil. Sensor ini memanfaatkan arus pusar (eddy current) yang terbentuk pada logam untuk menurunkan amplitudo osilasi, sehingga keberadaan logam dapat terdeteksi [11] dengan rumus berikut.

$$S_{ef} = K_m . S_n \quad (3)$$

S_{ef} = nilai efektif sinyal sensor setelah dikalibrasi,
K_m = konstanta kalibrasi atau faktor koreksi sensor,
S_n= nilai sinyal nominal yang dibaca langsung dari sensor.

Deteksi terjadi saat amplitudo < ambang internal, yang dibaca ESP32 sebagai logika HIGH/LOW.

Proses

Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali yang mengolah data dari berbagai sensor, mengendalikan aktuator, serta melakukan komunikasi data melalui konektivitas Wi-Fi. Dibandingkan dengan mikrokontroler lain seperti Arduino UNO, ESP32 memiliki keunggulan berupa prosesor ganda dan modul Wi-Fi terintegrasi sehingga lebih efisien untuk aplikasi IoT [12] berikut pada tabel 1 adalah pin yang digunakan pada ESP 32.

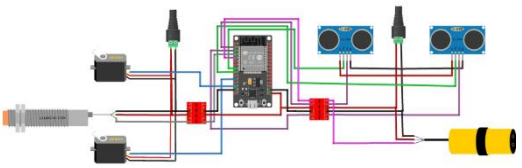
Tabel 1. *Pin Input Output pada ESP32*

Kategori	Nama Komponen & Fungsi	Pin ESP32
INPUT	Sensor Inframerah: Mendeteksi keberadaan objek sampah.	GPIO 35
	Sensor Proximity Kapasitif: Mengidentifikasi sampah organik.	GPIO 32
	Sensor Proximity Induktif: Mengidentifikasi sampah logam (anorganik).	GPIO 34
	Sensor Ultrasonik (Organik): Menerima sinyal pantulan (Echo).	GPIO 36
	Sensor Ultrasonik (Anorganik): Menerima sinyal pantulan (Echo).	GPIO 39
OUTPUT	Sensor Ultrasonik (Organik): Mengirim sinyal pemicu (Trigger).	GPIO 25
	Sensor Ultrasonik (Anorganik): Mengirim sinyal pemicu (Trigger).	GPIO 26
	Motor Servo Organik: Menggerakkan katup pemilah ke wadah organik.	GPIO 13
	Motor Servo Anorganik: Menggerakkan katup pemilah ke wadah anorganik.	GPIO 14
	Komunikasi Wi-Fi & Blynk: Mengirim data status ke cloud dan aplikasi.	Modul Internal
	Serial Monitor: Menampilkan log dan status proses untuk debugging.	TX0, RX0

Output

Motor Servo digunakan sebagai aktuator untuk membuka dan menutup penutup tempat sampah. Posisi sudut dikendalikan melalui sinyal PWM (Pulse Width Modulation). Motor servo dipilih karena mampu memberikan gerakan yang presisi dengan daya rendah [13].

Pada gambar 2 menunjukan keseluruhan rangakaian system perangkat keras tempat sampah pintar.



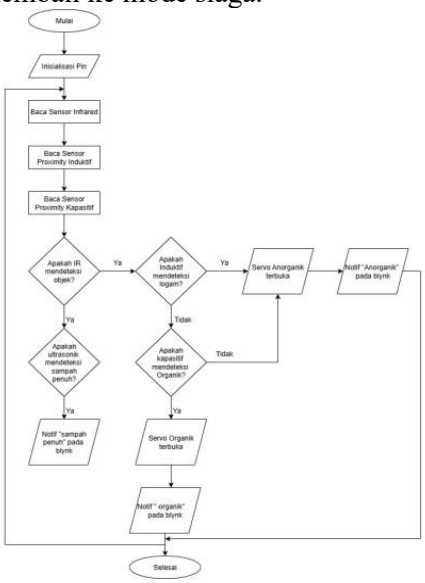
Gambar 2. *Rancangan Tempat Sampah pintar*

Perancangan Perangkat Lunak

Penelitian ini menggunakan platform IoT **Blynk** untuk memudahkan pemantauan dan pemberitahuan jarak jauh. Blynk dipilih karena menyediakan *dashboard* siap pakai sehingga peneliti tidak perlu membangun server dan aplikasi dari awal [14],[15]. aplikasi Blynk pada ponsel berfungsi sebagai **antarmuka pengguna** yang dirancang dengan metode *drag-and-drop* untuk menghubungkan *Virtual Pin* pada ESP32. Data kapasitas tempat sampah divisualisasikan melalui **dashboard** dalam bentuk indikator status ("Aman" atau "Penuh"), sehingga kondisi dapat dipantau secara real-time [16]. Selain itu, Blynk mendukung **notifikasi otomatis**, dimana server segera mengirim pesan ke ponsel ketika wadah terdeteksi penuh, sehingga petugas dapat merespons lebih cepat [17]. Dengan peran tersebut, Blynk mendukung integrasi perangkat keras dan lunak, serta meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah berbasis IoT. Berikut pada gamr 3 adalah Interface pada Blynk.

Gambar 3. *Interface Aplikasi Monitoring Blynk*

Berikut pada Gambar 4 adalah alur kerja system Sistem bekerja dalam mode siaga hingga sensor inframerah mendeteksi sampah. Setelah terkonfirmasi, sensor induktif memeriksa kandungan logam untuk diarahkan ke wadah anorganik, sedangkan sensor kapasitif mengidentifikasi sampah organik untuk diarahkan ke wadah organik. Jika tidak terdeteksi keduanya, sampah dikategorikan sebagai anorganik lain. Servo kemudian menggerakkan katup sesuai kategori, memberi jeda agar sampah jatuh, lalu kembali ke posisi awal sebelum sistem kembali ke mode siaga.



Gambar 4. *Alur Kerja Sistem*

HASIL DAN PEMBAHASAN

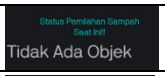
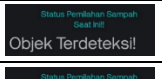
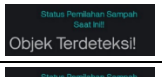
Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem tempat sampah pintar berbasis IoT yang dirancang mampu menjalankan fungsi pemantauan kapasitas secara real-time serta memilah sampah berdasarkan jenis material. Uji coba dilakukan dengan serangkaian percobaan menggunakan sampel sampah organik, anorganik logam, dan anorganik non-logam. Data hasil pengukuran sensor, respons aktuator, serta notifikasi dari aplikasi Blynk menjadi dasar analisis untuk mengevaluasi kinerja sistem.

A. Hasil Pengujian Sensor

Sensor InfraRed E18-D80NK

Sensor inframerah (E18-D80NK) diuji menggunakan lima kondisi sampel berbeda, yaitu tanpa halangan, kertas pada jarak 10–20 cm, kunci logam pada 10 cm, serta botol plastik pada 15 cm. Hasil pengujian menunjukkan konsistensi keluaran, dengan status “Tidak Ada Objek” pada kondisi tanpa halangan, serta status “Objek Terdeteksi!” pada seluruh sampel uji yang diletakkan dalam jangkauan sensor. Setiap perubahan status ini tampil sinkron baik di Serial Monitor maupun aplikasi Blynk, dengan tingkat akurasi 100% dari total 5 sampel uji. Hal ini membuktikan bahwa sensor inframerah bekerja andal sebagai pemicu utama untuk memulai proses pemilahan sampah otomatis. Berikut hasil pengujian pada table 2.

Tabel 2. *Pengujian Sensor Infra Red*

Kondisi Uji	Objek (cm)	Serial Monitor	Blynk
Tanpa Halangan	_	Tidak Ada Objek	
Objek kertas	10	Objek Terdeteksi	
Objek kertas	20	Objek Terdeteksi	
Objek kunci	10	Objek Terdeteksi	
Objek botol plastik	15	Objek Terdeteksi	

Sensor Proximity Induktif

Sensor proximity induktif diuji terhadap sampel logam (kaleng aluminium, sendok, kunci) dan non-logam (botol plastik) sebagai pembanding. Hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi 100% dalam mendeteksi objek logam, dengan konsistensi keluaran "Logam Terdeteksi" pada seluruh sampel logam, serta keluaran "Tidak Ada Logam" untuk sampel non-logam. Berikut adalah hasil pengujian pada tabel 3.

Tabel 3. *Hasil Pengujian Sensor Proximity Induktif*

Sampel Uji	Jenis Material	Status Sinyal Output	Blynk
Tanpa Objek	–	High	Status Pemilahan Sampah Saat Ini!! Tidak terdeteksi
Kulit Pisang	Organik	Low	Status Pemilahan Sampah Saat Ini!! Sampah Organik
Ampas Teh	Organik	Low	Status Pemilahan Sampah Saat Ini!! Sampah Organik
Kertas Kering	Organik	High	Status Pemilahan Sampah Saat Ini!! Tidak terdeteksi

Sensor Proximity Kapasitif

Sensor proximity kapasitif diuji menggunakan empat sampel, yaitu kulit pisang, ampas teh, kertas berminyak, dan kertas kering. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor secara konsisten memberikan keluaran **Low** pada tiga jenis sampah organik—kulit pisang, ampas teh, dan kertas berminyak—dengan status pada aplikasi Blynk terbaca sebagai "Sampah Organik". Sementara itu, pada sampel kertas kering, sensor menghasilkan keluaran High dengan status "Tidak Terdeteksi". Dari total empat sampel uji, tiga berhasil teridentifikasi dengan benar, sehingga tingkat akurasi sensor dalam mengenali sampah organik mencapai 75%. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor kapasitif bekerja cukup efektif untuk mendeteksi material organik yang bersifat lembap atau berminyak, namun masih memiliki keterbatasan pada material kering yang memiliki permitivitas rendah.

Berikut adalah hasil pengujian pada tabel 4.

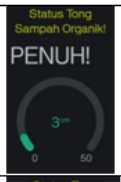
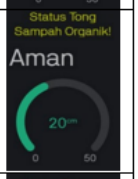
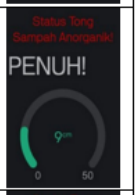
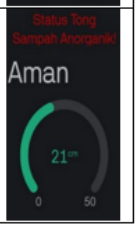
Tabel 4. *Hasil Pengujian Sensor Proximity Kapasitif*

Sampel Uji	Jenis Material	Status Sinyal Output	Blynk
Tanpa Objek	–	High	Status Pemilahan Sampah Saat Ini!! Tidak terdeteksi
Kulit Pisang	Organik	Low	Status Pemilahan Sampah Saat Ini!! Sampah Organik
Ampas Teh	Organik	Low	Status Pemilahan Sampah Saat Ini!! Sampah Organik
Kertas Kering	Organik	High	Status Pemilahan Sampah Saat Ini!! Tidak terdeteksi

Sensor Ultrasonik (HC-SR04)

Sensor ultrasonik diuji pada dua jenis tempat sampah (organik dan anorganik) dengan tiga variasi jarak pada masing-masing kategori Kondisi Tempat Sampah Notifikasi Sensor Ultrasonik membaca > 10 Aman dan Sensor Ultrasonik membaca < 10 Penuh. Pada tempat sampah organik, pengujian pada jarak 3 cm dan 8 cm menghasilkan status PENUH, sedangkan pada jarak 20 cm terbaca Aman, sesuai dengan kondisi sebenarnya. Hal serupa terjadi pada tempat sampah anorganik, di mana jarak 3 cm dan 9 cm terbaca PENUH, sementara pada jarak 21 cm terbaca Aman. Seluruh hasil pengujian ditampilkan sinkron baik pada Serial Monitor maupun aplikasi Blynk, Dari enam pengujian yang dilakukan, seluruh hasil sesuai dengan kondisi sebenarnya sehingga akurasi sensor tercatat sebesar 100%, membuktikan keandalannya dalam memantau kapasitas wadah sampah secara real-time. Berikut hasil terdapat pada table 5.

Tabel 5. *Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik*

Jarak Sensor (cm)	Serial Monitor	Notifikasi
3	[PEMANTUAN] Mengukur jarak organik: 3 cm. --> STATUS: PENUH!	
8	[PEMANTUAN] Mengukur jarak organik: 8 cm --> STATUS: PENUH!	
20	[PEMANTUAN] Mengukur jarak organik: 20 cm. --> STATUS: Aman.	
23	[PEMANTUAN] Mengukur jarak organik: 23 cm. --> STATUS: Aman.	
9	[PEMANTUAN] Mengukur jarak anorganik : 9 cm. --> STATUS: PENUH!	
21	[PEMANTUAN] Mengukur jarak anorganik : 21 cm. --> STATUS: Aman.	

B. Pengujian Sistem Tempat Sampah Pintar

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pemilah sampah mampu mengenali dan memisahkan sampah organik maupun anorganik dengan baik. Sensor induktif selalu mendeteksi objek logam, sensor kapasitif efektif untuk sampah organik basah atau berminyak, sedangkan objek anorganik non-logam kering terklasifikasi tepat tanpa sinyal dari kedua sensor. Setiap klasifikasi diikuti aksi servo sesuai kategori dan status ditampilkan melalui Blynk. Dari delapan sampel uji, tujuh berhasil terdeteksi benar dengan tingkat akurasi **87,5%**, membuktikan keandalan sistem dalam menjalankan fungsi pemilahan otomatis.

Tabel 6. *Hasil Pengujian Sampah Pintar*

No.	Sampel Uji	Kategori	Respon Sensor Aktif	Aksi Servo	Status Blynk	Hasil Pemilahan
1	Kulit Pisang	Organik	Kapasitif	Servo Organik ke posisi 0°	Sampah Organik	Benar
2	Ampas Teh	Organik	Kapasitif	Servo Organik ke posisi 0°	Sampah Organik	Benar
3	Kaleng Minuman	Anorganik	Induktif	Servo Anorganik ke posisi 180°	Sampah Anorganik	Benar
4	Botol Plastik	Anorganik	Inframerah (tanpa Induktif/Kapasitif)	Servo Anorganik ke posisi 180°	Sampah Anorganik	Benar
5	Kertas	Anorganik	Inframerah (tanpa Induktif/Kapasitif)	Servo Organik ke posisi 0°	Sampah Organik	Salah
6	Kunci	Anorganik	Induktif	Servo Anorganik ke posisi 180°	Sampah Anorganik	Benar
7	Kertas Berminyak	Organik	Kapasitif	Servo Organik ke posisi 0°	Sampah Organik	Benar
8	Sendok (Logam)	Anorganik	Induktif	Servo Anorganik ke posisi 180°	Sampah Anorganik	Benar

C. Analisis Hasil Pengujian

Sistem pemilah sampah menunjukkan tingkat akurasi sebesar 87,5%, dengan sensor inframerah berfungsi efektif sebagai pemicu awal dan sensor induktif sangat selektif dalam mendeteksi material logam. Kesalahan sebesar 12,5% disebabkan oleh sensor kapasitif yang kurang responsif terhadap sampah organik kering. Meskipun demikian, logika pemisahan tetap berjalan sesuai rancangan.

Selain itu, pengujian real-time dilakukan untuk memastikan keandalan sistem pemantauan kapasitas. Data hasil pembacaan sensor ultrasonik HC-SR04 dikirim ke server Blynk dengan interval 1 detik, dan notifikasi kondisi “Penuh” atau “Aman” muncul di aplikasi dalam waktu rata-rata 1,8 detik setelah sensor mendeteksi perubahan jarak. Hasil ini menunjukkan bahwa sinkronisasi data antara perangkat keras (ESP32) dan

aplikasi Blynk berlangsung secara real-time dan stabil, dengan akurasi pengukuran mencapai 98,27%. Dengan demikian, sistem terbukti mampu memberikan informasi kapasitas wadah secara tepat waktu dan dapat diandalkan untuk mendukung pemantauan kondisi tempat sampah secara langsung.

PENUTUP

Penelitian ini berhasil merancang sistem pemilah sampah otomatis berbasis IoT yang mampu membedakan sampah organik dan anorganik dengan akurasi 87,5%, serta memantau kapasitas wadah menggunakan sensor ultrasonik dengan akurasi 98,27%. Integrasi dengan aplikasi Blynk berjalan real-time sehingga informasi status wadah dapat diakses pengguna secara cepat dan andal. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan berfungsi sesuai tujuan penelitian dan memiliki potensi mendukung pengelolaan sampah yang lebih efisien.

Pengembangan selanjutnya, penelitian ini dapat ditingkatkan dengan menambahkan sensor atau algoritma klasifikasi yang lebih adaptif agar sampah organik kering dapat dikenali lebih baik. Selain itu, pengujian skala lapangan dengan variasi sampah yang lebih beragam diperlukan guna memastikan sistem benar-benar berdaya guna dan memberikan kontribusi nyata dalam pengelolaan sampah berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] "Sistem Informasi Persampahan Nasional 2022," *KLHK Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan,* 2022. [Online]. Available: https://sipsn.kemenlh.go.id/sipsn/

[2] (I. G. P. Suryawan) (A. R. Putra) (M. F. S. Dewi), "Implementasi Internet of Things (IoT) untuk Pengelolaan Sampah di Lingkungan Perkotaan," *J. Teknol. Dan Sist. Komput.*, vol. 9, no. 3, pp. 145–152, 2021.

[3] M. Yunus, "Rancang Bangun Prototipe Tempat Sampah Pintar Pemilah Sampah Organik dan Anorganik Menggunakan Arduino," *J. Teknol. Elektro*, vol. 12, no. 2, pp. 55–63, 2020.

[4] M. Akbar, S. D. Anjasmara, and K. D. K. Wardhani, "Rancang Bangun Alat Pendeteksi Sampah Organik dan Anorganik Menggunakan Sensor Proximity dan NodeMCU ESP8266," *J. Komput. Terap.*, vol. 7, no. 2, pp. 290–299, Dec. 2021, doi: 10.35143/jkt.v7i2.5178.

[5] H. Jusuf, M. L. Ichsan Ma'ruf, and I. Kusuma, "Perancangan Prototype Tempat Sampah Pintar Berbasis Internet of Things," *Jutisi J. Ilm. Tek. Inform. Dan Sist. Inf.*, vol. 11, no. 3, p. 807, Dec. 2022, doi: 10.35889/jutisi.v11i3.1017.

[6] T. W. O. Putri, G. Alvianingsih, and P. Maharani, "Perancangan Sistem Monitoring Pada Pemilah Sampah Otomatis Berbasis Internet of Things Menggunakan Aplikasi Blynk," *ENERGI KELISTRIKAN*, vol. 15, no. 1, July 2023, doi: 10.33322/energi.v15i1.1942.

[7] A. Suvarnamma and J. A. Pradeepkiran, "SmartBin system with waste tracking and sorting mechanism using IoT," *Clean. Eng. Technol.*, vol. 5, p. 100348, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.clet.2021.100348.

[8] S. Pramudyo, "Analisis Akurasi Sensor Ultrasonik HC-SR04 dalam Pengukuran Jarak," *J. Teknol. Elektro*, vol. 12, no. 1, pp. 45–52, 2020.

[9] S. A. Rini, "Pemanfaatan Sensor Inframerah untuk Deteksi Objek pada Sistem Otomatisasi," *J. Sist. Inf. Dan Teknol.*, vol. 8, no. 2, pp. 66–72, 2021.

[10] E. C. Nugroho, A. R. Pamungkas, and I. P. Purbaningtyas, "Rancang Bangun Alat Pemilah Sampah Otomatis Berbasis Arduino Mega 2560," *Go Infotech J. Ilm. STMIK AUB*, vol. 24, no. 2, p. 124, Dec. 2018, doi: 10.36309/goi.v24i2.96.

[11] W. C. Dunn, "Sensors and Actuators in Mechatronics: Design and Applications," New York: CRC Press.

[12] D. Witczak and S. Szymoniak, "Review of Monitoring and Control Systems Based on Internet of Things," *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 19, p. 8943, Oct. 2024, doi: 10.3390/app14198943.

[13] David Irwin and R. M. Nelms, *Basic Engineering Circuit Analysis,* 12th ed. in Hoboken, NJ: Wiley. 2021.

[14] P. Serikul, N. Nakpong, and N. Nakjuatong, "Smart Farm Monitoring via the Blynk IoT Platform : Case Study: Humidity Monitoring and Data Recording," in *2018 16th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE)*, Bangkok: IEEE, Nov. 2018, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICTKE.2018.8612441.

[15] G. Lu and Y. J. Yang, "IoT AND SMART INFRASTRUCTURE," in *Internet of Things and Data Analytics Handbook*, 1st ed., H. Geng, Ed., Wiley, 2017, pp. 481–493. doi: 10.1002/9781119173601.ch29.

[16] P. Sethi and S. R. Sarangi, "Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications," *J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 2017, pp. 1–25, 2017, doi: 10.1155/2017/9324035.

[17] P. V. Rao *et al.*, "IoT based Waste Management for Smart Cities," in *2020 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)*, Coimbatore, India: IEEE, Jan. 2020, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICCCI48352.2020.9104069