

SISTEM MONITORING DAN NOTIFIKASI *REAL-TIME* UNTUK MANAJEMEN SAMPAH OTOMATIS DI SALURAN IRIGASI BERBASIS IOT

Ahmad Zakarya⁽¹⁾, Suharyadi Pancono⁽²⁾, Duddy Arisandi⁽³⁾, Abdul Tahir⁽⁴⁾
(1,2,3) Teknologi Rekayasa Mekatronika, Politeknik Manufaktur Bandung, Bandung, (4) Perbaikan dan Perawatan Mesin Akademik Sorowako, Sorowako

Email: ⁽¹⁾Ahmad.Zakarya@mhs.polman-bandung.ac.id, ⁽²⁾suharyadi.p@polman-bandung.ac.id, ⁽³⁾duddy@polman-bandung.ac.id, ⁽⁴⁾abdultahir0101@gmail.com

ABSTRAK

Peningkatan volume sampah akibat urbanisasi telah menyebabkan penyumbatan dan pencemaran pada saluran irigasi. Penelitian ini bertujuan mengembangkan solusi rekayasa melalui purwarupa penyaring sampah otomatis berbasis Internet of Things (IoT) yang efisien. Sistem ini mengintegrasikan sensor inframerah untuk deteksi sampah, sensor ultrasonik untuk pemantauan level bak penampungan, dan mekanisme penyaring-konveyor yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32. Seluruh sistem terhubung ke platform Arduino IoT Cloud untuk monitoring dan notifikasi real-time. Hasil pengujian menunjukkan purwarupa ini mampu menyaring sampah dengan efektivitas rata-rata 85,6%. Sistem juga sangat responsif, dengan waktu respon kontrol darurat dari aplikasi kurang dari 1 detik dan pengiriman notifikasi 'penampungan penuh' rata-rata dalam 1,94 detik. Dengan demikian, integrasi otomasi mekanis dan platform IoT terbukti menjadi solusi yang efektif dan andal untuk mengatasi permasalahan sampah di saluran irigasi.

Kata kunci: Internet sebagai hal, penyaring sampah, saluran irigasi, otomatisasi, pemantauan waktu nyata.

ABSTRACT

The increasing volume of waste due to urbanization has led to blockages and pollution in irrigation channels. This research aims to develop an engineering solution through an efficient prototype of an automatic waste filtering system based on the Internet of Things (IoT). The system integrates an infrared sensor for waste detection, an ultrasonic sensor for monitoring the container level, and a filter-conveyor mechanism controlled by an ESP32 microcontroller. The entire system is connected to the Arduino IoT Cloud platform for real-time monitoring and notifications. Test results show that the prototype can filter waste with an average effectiveness of 85.6%. The system is also highly responsive, with an emergency control response time from the application of less than 1 second and an average 'container full' notification delivery time of 1.94 seconds. Thus, the integration of mechanical automation and an IoT platform proves to be an effective and reliable solution to address the problem of waste in irrigation channels.

Keywords: Internet of things, garbage filters, irrigation channels, automation, real-time monitoring.

PENDAHULUAN

Pertumbuhan populasi dan urbanisasi yang pesat di negara-negara berkembang, termasuk Indonesia, berdampak langsung pada peningkatan jumlah sampah yang sulit terkelola [1]. Data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan bahkan menunjukkan bahwa Indonesia mampu menghasilkan lebih dari 68 juta ton sampah setiap tahunnya [2]. Sampah yang tidak terurus dengan baik sering kali berakhir di saluran air, sungai, dan kanal [3], yang pada akhirnya menyebabkan penyumbatan aliran air, pencemaran lingkungan, dan krisis ekosistem perairan [4]. Di Kota Bandung, misalnya, diperkirakan lebih dari 18 ton sampah mengalir ke anak Sungai Citarum setiap hari, yang sebagian besarnya berasal dari saluran irigasi dan pemukiman sekitar [5]. Fenomena ini menegaskan bahwa pengelolaan sampah, khususnya di saluran irigasi, merupakan masalah yang mendesak untuk segera diatasi [6].

Masalah sampah di saluran irigasi memiliki implikasi luas terhadap kesejahteraan Masyarakat [7]. Secara sosial, banjir akibat saluran yang tersumbat dapat memaksa penduduk kehilangan tempat tinggal dan menghadapi kerugian materi yang besar. Secara ekonomi, pemerintah daerah harus mengeluarkan anggaran yang signifikan untuk memperbaiki infrastruktur yang rusak akibat banjir dan membersihkan saluran yang tersumbat [8]. Jika masalah ini tidak segera ditangani secara efektif, biaya yang harus dikeluarkan akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya populasi dan volume sampah [9].

Metode yang ada saat ini untuk menangani sampah di saluran irigasi, seperti pemasangan jaring penahan atau pembersihan secara manual, terbukti memiliki banyak kekurangan. Metode konvensional ini memerlukan banyak tenaga kerja, memakan waktu, dan tidak cukup efisien untuk mengatasi volume sampah yang terus bertambah. Selain itu, minimnya sistem pemantauan kondisi saluran secara real-time juga menyulitkan upaya penanganan yang lebih cepat dan terintegrasi [6].

Untuk menjawab tantangan tersebut, teknologi berbasis Internet of Things (IoT) menawarkan solusi yang lebih modern dan efisien. IoT memungkinkan pemantauan kondisi secara real-time melalui sensor yang terhubung dengan sistem kendali otomatis [10]. Dengan memanfaatkan IoT, penanganan sampah dapat dilakukan secara lebih sistematis dan efektif, mulai dari mendeteksi keberadaan sampah secara otomatis, mengelola mekanisme penyaringan, hingga memberikan notifikasi kepada petugas jika kapasitas penampungan sampah telah penuh [11].

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menghadirkan solusi rekayasa praktis melalui perancangan dan pembangunan purwarupa alat penyaring sampah otomatis pada saluran irigasi berbasis IoT. Melalui pendekatan ini, diharapkan alat yang dikembangkan dapat mengatasi keterbatasan metode konvensional, meningkatkan efisiensi penanganan sampah, serta membantu menjaga kebersihan lingkungan dan kualitas air di saluran irigasi.

METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini menggunakan pendekatan VDI 2206, sebuah standar panduan dari Asosiasi Insinyur Jerman (Verein Deutscher Ingenieure) yang dirancang khusus untuk pengembangan sistem mekatronika yang kompleks. Metode ini dipilih karena pendekatan V-model yang diusungnya sangat sesuai untuk mengintegrasikan perancangan domain mekanik, elektrik, dan perangkat lunak secara terstruktur dan iteratif, memastikan setiap subsistem dapat bekerja secara sinkron dan andal. [12].

Proses perancangan diawali dengan elisitasi persyaratan untuk mendefinisikan seluruh kebutuhan fungsional sistem. Tahap ini dilanjutkan dengan perancangan arsitektur sistem secara umum yang menguraikan alur kerja dari Input (sensor), Proses (mikrokontroler), dan Output (aktuator). Selanjutnya, dilakukan perancangan spesifik pada setiap domain rekayasa: perancangan mekanik yang mencakup konstruksi fisik dan pemilihan motor penggerak berdasarkan perhitungan

kebutuhan torsi menggunakan prinsip dasar momen gaya, yaitu $T=F \times r$, di mana T adalah torsi (Nm), F adalah gaya (N), dan r adalah jari-jari lengan (m); perancangan elektrik yang merinci skema pengkabelan; serta perancangan informatika yang membangun logika kontrol. Puncak dari metodologi ini adalah tahap integrasi dan validasi, di mana purwarupa yang telah dibangun diuji secara sistematis untuk memverifikasi kinerjanya terhadap persyaratan awal.

Implementasi sistem ini berpusat pada mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan utama yang mengolah data dari sensor inframerah untuk deteksi sampah dan sensor ultrasonik untuk pemantauan level. Untuk fungsi monitoring dan notifikasi real-time, sistem terhubung ke platform cloud melalui Arduino IoT Cloud.

Arsitektur Sistem IoT dan Alur Data

Sistem Internet of Things (IoT) yang dikembangkan dalam penelitian ini dapat diuraikan ke dalam arsitektur tiga lapisan (three-layer architecture) yang umum digunakan dalam implementasi IoT, yaitu Lapisan Fisik, Lapisan Jaringan, dan Lapisan Aplikasi. Arsitektur ini memastikan alur data yang terstruktur dari deteksi di lapangan hingga penyajian informasi kepada pengguna.

Lapisan Fisik (Perception/Physical Layer)

Lapisan ini merupakan ujung tombak dari sistem yang berinteraksi langsung dengan lingkungan fisik. Komponen pada lapisan ini bertugas untuk mengumpulkan data dan melakukan aksi. Pada purwarupa ini, lapisan fisik terdiri dari:

- Sensor Inframerah (E18-D80NK): Berfungsi sebagai pemicu utama sistem dengan mendeteksi keberadaan sampah yang melintas.
- Sensor Ultrasonik (HC-SR04): Mengukur jarak untuk memantau ketinggian sampah di dalam bak penampungan secara real-time.
- Aktuator (Motor DC): Motor penyaring dan motor konveyor yang bertugas melakukan aksi fisik untuk memindahkan sampah.

Lapisan Jaringan (Network Layer)

Lapisan ini bertanggung jawab untuk mentransmisikan data yang dikumpulkan oleh Lapisan Fisik ke platform cloud. Mikrokontroler ESP32, sebagai gerbang (gateway), menggunakan modul Wi-Fi terintegrasi untuk terhubung ke jaringan internet melalui protokol nirkabel IEEE 802.11. Data sensor yang telah diolah kemudian dienkapsulasi dan dikirimkan ke server cloud melalui protokol komunikasi yang ringan dan efisien, yaitu MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). Protokol ini dipilih karena sangat cocok untuk perangkat IoT dengan sumber daya terbatas, memastikan pengiriman data yang andal meskipun dalam kondisi jaringan yang kurang stabil.

Lapisan Aplikasi (Application Layer)

Lapisan ini adalah antarmuka antara sistem IoT dengan pengguna akhir. Dalam penelitian ini, Arduino IoT Cloud berperan sebagai Platform as a Service (PaaS) yang menyediakan layanan backend dan frontend. Platform ini memiliki tiga fungsi utama:

- Broker MQTT: Menerima, memproses, dan mendistribusikan data dari perangkat ESP32.
- Rule Engine: Mengeksekusi logika di sisi server. Contohnya, ketika data dari sensor ultrasonik menunjukkan nilai jarak < 7 cm, rule engine akan memicu pengiriman notifikasi "penampungan penuh".

- Antarmuka Pengguna: Menyajikan data secara visual melalui dasbor aplikasi pada smartphone, memungkinkan pengguna untuk memantau status sistem dan menerima notifikasi peringatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi dan Kinerja Mekanik

Purwarupa alat penyaring sampah otomatis berhasil diimplementasikan secara fisik (Gambar 3.1) dan seluruh komponen mekaniknya terverifikasi dapat berfungsi sesuai rancangan. Pengujian kinerja utama dilakukan untuk mengukur efektivitas sistem dalam menyaring sampah basah seberat 500 gram dalam siklus 30 detik. Dari 10 iterasi pengujian, sistem menunjukkan efektivitas penyaringan rata-rata sebesar 85,6%. Kinerja ini menunjukkan kemampuan alat untuk secara signifikan mengurangi volume sampah di aliran air. Selain itu, dilakukan pengujian karakteristik penyaring untuk mencari kecepatan motor yang optimal. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai PWM 200 memberikan keseimbangan antara kecepatan angkut dan keberhasilan transfer sampah ke conveyor, sementara nilai yang lebih rendah atau lebih tinggi menyebabkan sampah jatuh kembali atau terlempar tidak beraturan.



Gambar III.1 Implementasi Rancangan Mekanik

Gambar ini menampilkan wujud akhir purwarupa yang telah berhasil dirakit sesuai dengan metodologi perancangan. Terlihat integrasi komponen utama yang mencakup rangka, mekanisme penyaring, sistem conveyor, dan panel kontrol terpusat.

Gambar III.2 Grafik Pengujian Penyaringan Sampah

Grafik ini memvisualisasikan berat sampah (dalam gram) yang berhasil diproses dalam 10 iterasi pengujian dengan beban awal 500 gram per iterasi. Hasilnya menunjukkan kinerja yang bervariasi namun konsisten, dengan nilai rata-rata efektivitas penyaringan mencapai 85,6%.

Kinerja dan Responsivitas Sistem IoT

Internet of Things (IoT) yang diimplementasikan pada platform Arduino IoT Cloud diuji secara komprehensif untuk memvalidasi akurasi sensor dan kecepatan respon sistem. Pengujian mencakup latensi kontrol darurat dari aplikasi, akurasi sensor ultrasonik dalam mengukur level sampah, serta kecepatan pengiriman notifikasi. Seluruh hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki kinerja yang sangat andal dan responsif, dengan semua waktu respon berada di bawah 2 detik.

Tabel 3.1 Responsivitas Kontrol Darurat

Iterasi	Tekan <i>Emergency Button</i> (Arduino IoT Cloud)	Status Sistem	Waktu Respon (detik)
1	ON	OFF	0.80
2	ON	OFF	0.67
3	ON	OFF	0.40
4	ON	OFF	0.30
5	ON	OFF	0.46
6	ON	OFF	1.58
7	ON	OFF	0.50
8	ON	OFF	0.40
9	ON	OFF	0.37
10	ON	OFF	0.37
Rata-rata Waktu Respon			0.58

Tabel 3.1 menyajikan data hasil pengujian responsivitas kontrol darurat yang diaktifkan melalui aplikasi. Dari 10 iterasi pengujian, sistem menunjukkan waktu respon yang sangat cepat dengan nilai rata-rata 0,58 detik. Meskipun terdapat satu anomali pada iterasi keenam yang mencapai 1,58 detik, kemungkinan akibat fluktuasi jaringan sesaat, mayoritas data menunjukkan latensi di bawah 1 detik. Hasil ini memvalidasi bahwa fungsi keselamatan darurat pada sistem dapat diandalkan untuk menghentikan operasi alat secara instan.

Tabel 3.2 Akurasi Sensor Ultrasonik

Iterasi	Level Sampah Arduino IoT Cloud (cm)	Level Sampah Aktual (cm)	Selisih (cm)	Waktu Respon Aplikasi (detik)
1	20.01	20.00	0.01	2.1
2	18.25	18.00	0.25	1.8
3	16.00	16.00	0	2.0
4	14.00	14.00	0	1.9
5	12.01	12.00	0	2.2
6	10.00	10.00	0.01	1.9
7	8.01	8.00	0.01	1.8
8	6.00	6.00	0	1.8
9	4.03	4.00	0.03	1.9
10	2.35	2.00	0.35	2.1
Rata-rata Waktu Respon			Error: 1.95%	Waktu Respon: 1.95 detik

Validasi akurasi sensor ultrasonik dilakukan untuk mengukur keandalannya dalam memantau level sampah. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip *time-of-flight*, di mana jarak dihitung menggunakan rumus $Jarak = \frac{Waktu \times Kecepatan \text{ Suara}}{2}$. Hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 3.2 menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dengan rata-rata persentase *error* pengukuran hanya sebesar 1,95%. Selisih pengukuran terbesar terjadi pada jarak terdekat, yang merupakan karakteristik umum dari sensor. Selain itu, waktu yang dibutuhkan untuk data sensor diperbarui pada aplikasi juga terbukti andal dengan rata-rata 1,95 detik. Hal ini mengonfirmasi bahwa sistem monitoring level sampah mampu memberikan informasi yang akurat dan cukup cepat kepada pengguna.

Tabel 3.3 Responsivitas Notifikasi

Iterasi	Kondisi Pemicu	Waktu Respon Notifikasi (detik)
1	Level Sampah < 7 cm	2.50
2	Level Sampah < 7 cm	2.97
3	Level Sampah < 7 cm	1.62
4	Level Sampah < 7 cm	1.52
5	Level Sampah < 7 cm	1.73
6	Level Sampah < 7 cm	1.95
7	Level Sampah < 7 cm	2.18
8	Level Sampah < 7 cm	1.65
9	Level Sampah < 7 cm	1.82
10	Level Sampah < 7 cm	1.50
Rata-rata Waktu Respon		1.94

Tabel 3.3 merinci hasil pengujian kecepatan pengiriman notifikasi "penampungan penuh" dari sistem ke *smartphone* pengguna. Hasil pengujian menunjukkan bahwa notifikasi dapat diterima dengan sangat cepat, dengan waktu respon rata-rata 1,94 detik. Waktu pengiriman bervariasi antara 1,50 hingga 2,97 detik, yang dapat dipengaruhi oleh latensi jaringan dan server *cloud*. Namun, secara konsisten, waktu pengiriman berada di bawah 3 detik, membuktikan bahwa fitur peringatan dini pada sistem ini bekerja secara efektif dan dapat diandalkan.

ANALISIS WAKTU DAN BIAYA IMPLEMENTASI

Analisis biaya produksi purwarupa dibagi menjadi dua komponen utama: Biaya Material (pengadaan komponen) dan Biaya Proses (jasa manufaktur). disajikan pada Tabel 4.1. dan Tabel 4.2

Tabel 4. 1 Biaya Material

No.	Material dan Komponen	Spesifikasi	Satuan	Biaya per unit (Rp)	Jml	Jumlah (Rp)
1	Mikrokontroler	ESP32	unit	130.000	1	130.000
2	Modul Penurun Tegangan	DC-DC <i>Step-Down</i> 5V	unit	15.000	1	15.000
3	Sensor Ultrasonik	HC-SR04	unit	12.000	2	24.000
4	Sensor Inframerah	E18-D80NK	unit	22.000	2	44.000
5	Modul Relay	5V 3- <i>Channel</i>	unit	50.000	1	50.000
6	Konveyor Mini	Frame 50 cm x 10 cm	unit	1.200.000	1	1.200.000
7	<i>Belt</i> Konveyor	<i>Roughtop</i> , Keliling 100 cm, Lebar 8 cm	unit	200.000	1	200.000
8	<i>Driver</i> Motor	BTS7960	unit	75.000	2	150.000
9	Motor DC <i>Gearbox</i>	12V 40W	unit	1.500.000	1	1.500.000
10	<i>Timing Pulley (Driven)</i>	HTD3M 60T	unit	110.000	1	110.000
11	<i>Timing Pulley (Driver)</i>	HTD3M 30T	unit	45.000	1	45.000
12	<i>Timing Belt</i>	HTD3M, Panjang 345 mm	unit	25.000	1	25.000
13	<i>Power Supply</i> (PSU)	12V 15A	unit	100.000	1	100.000
14	<i>Miniature Circuit Breaker</i> (MCB)	1 <i>Pole</i> , 4A	unit	25.000	1	25.000
15	Lampu Indikator	12V DC, Diameter 22 mm, Merah, Kuning, Hijau	unit	15.000	3	45.000
16	Saklar Pemilih (<i>Selector</i>)	2 Posisi (ON-OFF), 22	unit	20.000	1	20.000

	<i>Switch</i>)	mm				
17	Tombol Darurat (<i>Emergency Button</i>)	<i>Push-Lock, Twist-Release</i> , 22 mm	unit	20.000	1	20.000
18	Box Panel	300x400 mm	unit	125.000	1	125.000
19	Besi Siku	30x30x2.5 mm	kg	11.000	20	220.000
20	Aluminium	Diameter 320 mm ketebalan 4 mm	kg	150.000	5	750.000
21	Bak Penampungan	580x430x200 mm 420x280x150 mm	unit	100.000	2	200.000
22	Komponen Tambahan	Mur, Baut, Sekrup, Kabel dan <i>Cover Kabel</i>	paket	150.000	4	600.000
23	Cat Semprot	Pewarna dan Pelapis	unit	30.000	3	90.000
Jumlah keseluruhan						5.688.000

Biaya material mencakup seluruh pengadaan komponen elektronik, mekanik, dan material fabrikasi yang digunakan disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 2 Biaya Proses

NO	Jenis Proses	Estimasi Waktu (Jam)	Tarif Jasa / Jam (Rp)	Sub-Total Biaya (Rp)
1	Fabrikasi & Pengelasan	40	75.000	3.000.000
2	Permesinan Bubut	30	75.000	2.250.000
3	Permesinan Frais	20	75.000	1.500.000
4	Perakitan	30	75.000	2.250.000
	Total Biaya Proses	120		9.000.000

Biaya proses manufaktur diestimasi berdasarkan nilai pasar, wajar untuk jasa permesinan dan perakitan, estimasi ini penting untuk menentukan nilai keekonomian purwarupa jika diproduksi oleh pihak lain. Rincian estimasi biaya proses disajikan pada Tabel 4.2.

Berdasarkan kedua komponen biaya tersebut, total estimasi biaya untuk memproduksi satu unit purwarupa penyaring sampah otomatis ini adalah Rp 14.688.000 (Rp 5.688.000 untuk material dan Rp 9.000.000 untuk proses manufaktur).

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil merancang, membangun, dan memvalidasi purwarupa penyaring sampah otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem ini terbukti efektif dengan kemampuan penyaringan rata-rata 85,6% dan didukung oleh platform IoT yang sangat responsif, di mana waktu respon kontrol dan notifikasi berada di bawah 2 detik. Integrasi sistem mekanik yang andal dengan monitoring IoT secara *real-time* menunjukkan bahwa solusi ini merupakan pendekatan yang efisien dan menjanjikan untuk mengatasi masalah penumpukan sampah di saluran irigasi, serta menjadi dasar untuk pengembangan skala penuh di masa depan.

REFERENSI

A. F. Rahmawati., Amin, Rasminto, and Syamsu, F. D. “Analisis Pengelolaan Sampah Berkelanjutan Pada Wilayah Perkotaan Di Indonesia,” Mar. 2021.

F. N. Qowasmi, Sudarti, and Yushardi, “Efektivitas Larva Black Soldier Fly (Maggot) sebagai Metode Alternatif Penguraian Sampah Organik,” vol. 01, pp. 179–184, Dec. 2023.

M. D. Arifin, Prasetyo Budi. D., and Chairil. A., “Analisis Problem Banjir di Kawasan Jhoni Anwar Padang dalam Perspektif Hukum Lingkungan,” Feb. 2024. [Online]. Available: <https://journal.umnyarsi.ac.id/index.php/JPAMS>

Y. Yusuf Subu and K. B Bala, “Faktor Penyebab Penumpukan Sampah Plastik Di Kota Merauke Dan Upaya Untuk Melestarikan Lingkungan Melalui Ensiklik Laudato Si,” Apr. 2024.

H. Muhammad, “Sungai Kota Bandung Dapat Kiriman 13 Ton Sampah Per Hari | Republika Online.” Accessed: Nov. 28, 2024. [Online]. Available: <https://news.republika.co.id/berita/rh84es380/sungai-kota-bandung-dapat-kiriman-13-ton-sampah-per-hari>

A. Arisandi. A. Farid, and S. Muskaromah, “Pengelolaan Sampah Plastik yang Mencemari Saluran Irigasi Sungai Tonjung Kabupaten Bangkalan Madura,” Jurnal Ilmiah Pangabdhi, vol. 6, no. 2, pp. 53–58, Oct. 2020, doi: 10.21107/pangabdhi.v6i2.7493.

N. Yulia Aulia, “Upaya Pemerintah Desa Dalam Pemberdayaan Masyarakat Melalui Program Alih Fungsi Saluran Irigasi Di Desa Tanjung Sawit Kecamatan Tapung Kabupaten Kampar,” Sep. 2023.

N. Muslimah, D. Audea, F. Handayani Manalu, and Berlianti, “Analisis Penanganan Pasca Banjir Oleh Pemerintah Daerah Di Kelurahan Beringin Kota Medan,” Cahaya Ilmu Bangsa, vol. 3, no. 8, Dec. 2024, doi: 10.9765/Krepa.V218.3784.

D. Rusvinasari and A. Surya Risnanto, “Rancangan Prediksi Volume Sampah Tpa Kota Semarang Dengan Pendekatan Sistem Dinamik,” vol. 3, Mar. 2024.

V. Rahmadhani, W. Arum, U. Bhayangkara, and J. Raya, “Literature Review Internet Of Think (Iot): Sensor, Konektifitas Dan Qr Code,” vol. 3, no. 2, 2022, doi: 10.38035/jmpis.v3i2.

Debo-Saiye Yomi, Okeke.S. Henry, and Mbamaluikem.O. Peter, “Implementation of an Arduino-Based Smart Drip Irrigation System,” vol. 5, no. 1, Dec. 2020.

J. , & M. S. Gausemeier, “VDI 2206 - A New Guideline for the Design of Mechatronic Systems,” in Proceedings of the 15th Triennial World Congress of the International Federation of Automatic Control (IFAC), Barcelona: Elsevier, 2002.