

Pemodelan Otomasi Bak Sampah berbasis Sensitivitas Objek

M. D. Priangga¹, S.N.M.P. Simamora²

^{1,2}Program Studi Teknik Infomatika, Institut Digital Ekonomi LPKIA
Jl. Soekarno Hatta No.456, Bandung, 40266, Jawa Barat, Indonesia

¹1220434011@fellow.lpkia.ac.id, ²snmpsimamora@lpkia.ac.id

DOI: 10.58918/lofian.v4i2.274

Abstrak

Pekerjaan-pekerjaan manual yang masih mengandalkan kecakapan dan kedisiplinan tentu masih belum bisa mendekati hasil yang lebih baik bila dibandingkan dengan berbasis otomasi. Model alat yang telah diterapkan pada bak sampah dirancang agar tidak ada kontak-fisik antara *end-user* dengan bak saat akan membuang; yakni memasang *sensor* terhadap *obstacle* yang mendekati bak sampah. Saat *obstacle*, yakni *end-user*; dalam jarak 80 cm sampai dengan 40 cm berada dalam *line-of-sight sensor*, maka penutup bak sampah akan terbuka dan sampah siap dimasukkan. Pada penutup di dalam bak sampah dipasang juga sebuah *sensor* untuk mendeteksi ketinggian sampah dari jarak vertikal terhadap tutup bak, sehingga saat ketinggian toleransi yang ditetapkan sudah terpenuhi yakni 10 cm sampai dengan 5 cm maka *buzzer* berbunyi dan notifikasi pesan ditampilkan menginformasikan sampah dalam bak telah penuh, siap untuk diambil. Metode yang digunakan adalah perancangan model komputer dengan menggunakan simulator Wokwi, dan diimplementasikan dengan *microcontroller* ESP-32. Pendekatan model juga berbasis pada metode *embedded-systems*. Hasilnya diperoleh bahwa alat telah berhasil mendeteksi *obstacle* di depan bak sampah sehingga nirsentuh antara *end-user* dan bak terpenuhi. Demikian juga ketinggian sampah yang ditetapkan berhasil dideteksi oleh *sensor*, diperlihatkan notifikasi tertampil pada *Visual-Display Unit* (VDU) serta *buzzer* telah berjalan dengan baik.

Kata Kunci: line-of-sight, otomasi, microcontroller, ESP-32, embedded-systems, sensor.

1. Pendahuluan

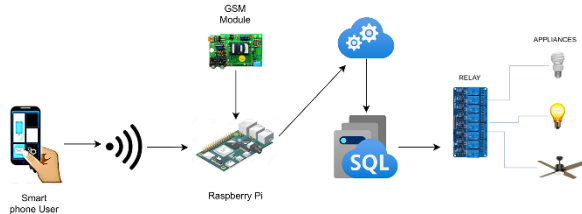
Tujuan utama diterapkannya teknologi adalah agar pekerjaan-pekerjaan manual, yang masih mengandalkan keterampilan atau kecakapan manusia dapat digantikan dengan mesin. Mesin yang dimaksudkan di sini, bisa berbasis sumber-daya bahan bakar atau elektronik bahkan komputasi seperti komputer. Aspek ketelitian manusia belum bisa menggantikan mesin; terlebih lagi mesin-mesin berbasis proses komputasi seperti *microcontroller*. Dalam hal lain seperti aspek *memorize*, manusia belum bisa mensejajarkan dirinya dengan mesin, walaupun pada beberapa orang memperoleh talenta; namun belum bisa sebanding kemampuannya dengan mesin. Hal umum yang perlu diperhatikan perihal penanganan buangan sampah di ruang-ruang perkantoran; bahwa apabila tidak ditangani dengan baik akan memunculkan masalah baru yakni penyebaran penyakit; bila berkaitan dengan sampah organik. Namun untuk sampah non-organik cukup mengganggu juga bila tidak dilakukan penanganan yang tepat. Terlebih lagi sampah non-organik yang telah melebihi kapasitas volume bak sampah yang tersedia membuat ruang-kerja tidak tertata baik akibat

pengambilan sampah tidak tertentu jadwal kegiatannya. Hal ini karena sampah menumpuk di dalam bak.

Bidang otomasi muncul berawal dari pendekatan berbasis mesin menggantikan ketangkasan/keterampilan manusia dalam produksi bersifat *massive* di industri/pabrik. Seiring dengan perkembangan teknologi berbasis sistem komputer, bidang otomasi juga beralih kepada teknologi komputer. Awalnya penyebutan mesin berorientasi selalu kepada motor penggerak menggunakan bahan bakar, saat ini telah beralih ke penggerak listrik. Terapan teknologi sistem komputer ke berbagai aktivitas bisnis dan industri, juga memunculkan pergeseran makna otomasi ke bidang perangkat keras komputer, sehingga dikenal istilah mesin komputasi [1][2][3].

Otomasi dalam bidang bisnis seperti perkantoran, artinya menerapkan aktivitas digitalisasi dalam setiap pekerjaan dan proses bisnisnya khususnya dokumentasi; termasuk juga berbagai alat bantu dan pendukung di dalamnya. Alat bantu dan pendukung dimaksud di sini bisa dimaknai seperti penyediaan ruang-kerja yang nyaman, alat penerangan yang baik, atau manajemen sanitasi dan higienitas yang sehat [4][5]. Berbagai metode otomasi sudah banyak diterapkan dalam bidang bisnis dalam hal

customization fungsi-fungsi pada sebuah perangkat dalam mendukung rangkaian aktivitas bisnis perusahaan; yakni layanan informasi, transformasi bentuk dokumen dalam format *digital*, *email automation*, dan alat *Optical Character Recognition* [1][2].



Gbr 1. Model Otomasi berbasis sistem computer
 (Sumber: peerj.com)

Jarak jangkauan dari sebuah *transmitter* diukur dari kemampuan sebuah *receiver* bisa menangkap sinyal pancar yang dikirimkan setelah melewati berbagai gangguan dan hambatan (*obstacle*). Gangguan dan *obstacle* dapat berupa sifat alamiah dari sebuah gelombang elektromagnetik yakni: *reflection*, *scattering*, dan *diffraction*. Akibat ketiga sifat alamiah saat gelombang radio berpropagasi di ruang-bebas inilah yang menimbulkan *delay*, *latency*, dan destruksi saat sinyal dikirimkan dan diterima; yang disebut dengan *noise* (gangguan).

Jarak jangkauan dalam bidang gelombang radio diistilahkan dengan *Line-of-Sight* (LOS), yang terklasifikasi menjadi *Optical Line-Of-Sight* dan *Radio Line-Of-Sight*. *Optical* LOS mendeskripsikan jarak jangkauan berdasar lokasi antar dua *devices*, sedangkan *Radio* LOS berdasar kepada jangkauan kapasitas bisa saling *listening*. Saat *sensor* memancarkan gelombang elektromagnetik; misalkan *sensor* ultrasonik, maka gelombang elektromagnetik yang dipancarkan direpresentasikan dalam bentuk *sound* [3][6][7]. Jangkauan jarak *sensor* ultrasonik dirumuskan pada (1), dimana sebuah gelombang suara akan dipantulkan saat mengenai sebuah *obstacle*, sehingga jarak harus dibagi dua [4][8].

$$d = \frac{t \times 340}{2}; \dots\dots\dots (1)$$

dimana,

t = waktu dalam detik

d = jarak dalam cm

Konstanta 340: kecepatan suara dalam suhu ruang dalam satuan m/s

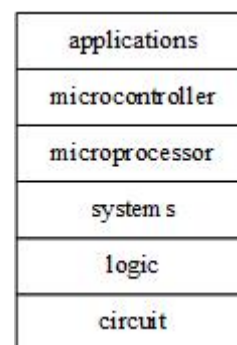
Konstanta 2: dibagi bilangan 2 oleh sebab adanya sifat refleksi

Karakteristik sinyal *audio* identik dengan sifat alamiah sebuah gelombang elektromagnetik, namun

yang membedakannya bila kecepatan gelombang elektromagnetik 3×10^8 m/s; sedangkan kecepatan suara 340 m/s. Adapun untuk *range* frekuensi suara yang dapat didengar oleh manusia secara umum adalah antara 20 Hz hingga 20.000 Hz; sedangkan *range* frekuensi suara manusia saat berbicara (*speech*) umumnya lebih sempit dibandingkan *range* frekuensi pendengaran (*audible*) yakni 100 Hz hingga 8.000 Hz [4][8][21].

Microprocessor dikembangkan setelah penemuan komponen-komponen *microelectronics* seperti transistor, dioda, *integrated circuit* (IC). Salah satu terobosannya adalah ditemukannya *calculator*. Prinsip kerja *calculator* sudah merepresentasikan skema kerja dasar sistem komputer modern [9][10]. Salah satu *microprocessor* yang umum dikenal adalah Intel Core i3.

Perbedaan mendasar *microcontroller* dengan *microprocessor* adalah kapabilitas merepresentasikan model kerja sebuah sistem komputer; dimana sebuah *microcontroller* telah dilengkapi dengan dua komponen utama yakni I/O-devices dan *processing-devices*. Hal ini berbeda dengan *microprocessor* yang hanya memiliki kemampuan *processing-device* [11][12]. *Microcontroller* merupakan perangkat elektronika berbasis pada IC yang telah dilengkapi dengan beberapa komponen utama sistem komputer modern seperti: *microprocessor*, *main-memory*, dan I/O-systems. Nilai-masukan pada *microcontroller* harus dalam bentuk digital sehingga dilengkapi dengan unit ADC (*Analog-to Digital Converter*) [13][14][15].



Gbr 2. Lapisan hubungan *microprocessor* dan *microcontroller*

Seperti halnya *microprocessor* yang dilengkapi dengan berbagai kaki-kaki konduktor, demikian juga pada sebuah *microcontroller* memilikinya yang disebut dengan *Pin-Out*. Setiap kaki-kaki konduktor atau *Pin-Out* ini memiliki fungsi-fungsi tersendiri berdasar sinyal listrik yang masuk. Dan sebuah pemrograman digunakan untuk memberi instruksi serta pengkondisian setiap *Pin-Out* untuk melakukan

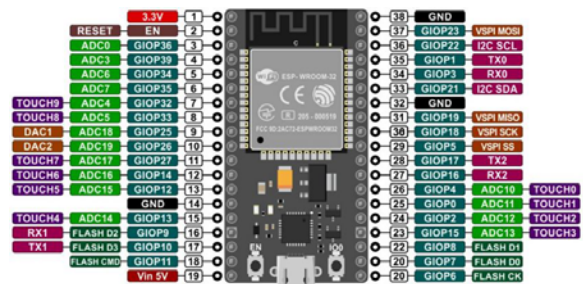
mekanisme dan fungsi kerja sesuai kebutuhan dan aplikasi yang akan dikembangkan [16][17].

Salah satu *microcontroller unit* (MCU) yang umum saat ini digunakan adalah ESP-32. MCU ini telah dilengkapi dengan chip IEEE 802.11 yakni teknologi *Wireless Fidelity* (WiFi). ESP-32 dilengkapi *Pin-Out* dengan masing-masing fungsi kerja khusus, seperti ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 3 [18][19].

Tabel 1

Spesifikasi ESP-32

Parameter	Deskripsi
Tegangan masukan	5 V
Tegangan operasi	5 V
ADC pin	18 buah
DAC pin	2 buah
Flash-memory	128 KB
SRAM	320 KB
Clock-speed	240 MHz
Berat	25 gram
Dimensi	54 x 27.7 mm
Komunikasi	WiFi, Bluetooth, I2C, SPI, Serial



Gbr. 3. Model ESP-32

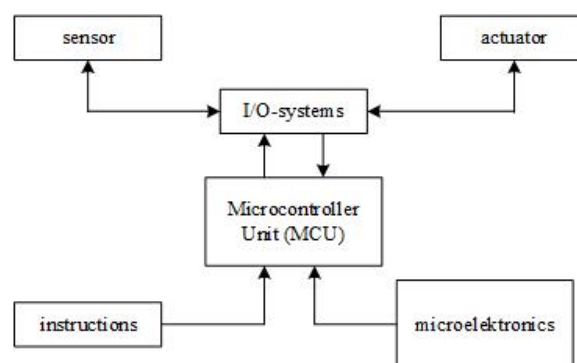
(Sumber: mikroelectron.com)

I2C (*Inter-Integrated Circuit*) merupakan protokol komunikasi digital yang digunakan untuk menghubungkan berbagai perangkat elektronik terhubung pada sebuah sistem. Misalkan pada MCU, I2C digunakan dalam hal berkomunikasi dengan *sensor*, modul, dan perangkat eksternal lainnya yang terhubung dengan MCU tersebut [12][20].

Sebuah antar-muka (diistilahkan dengan IDE, *Integrated Developmet Environment*) digunakan untuk menuliskan instruksi pemrograman ke memori MCU. Salah satu contohnya adalah simulator Wokwi dan Arduino IDE [4][12][21]. Bahasa pemrograman umum yang digunakan adalah keluarga Bahasa C/C++. Namun di beberapa *platform* sudah ada menggunakan *programming-language* Python (MicroPython, CircuitPython) dan JAVA (ESP-32 JAVA, Processing).

Dasar dari sebuah perangkat berorientasi *embedded-systems* adalah komponen utamanya merupakan *microcontroller* [20][21], dengan alasan sistem *embedded-systems* merupakan gabungan dari perangkat keras dengan fungsi-kerja khusus dan sistem operasi yang telah tertanam di dalamnya untuk menjalankan serangkaian aplikasi tertentu [19][20]. Misalkan rangkaian komponen yang dihubungkan dengan sebuah MCU untuk aplikasi tertentu seperti: alat pacu jantung, *Magnetic Resonance Imaging system*, atau *Anti-lock Brake System*.

Bidang-bidang pembentuk *embedded-systems* selain *microcontroller* adalah *software*, *hardware*, *microelectronics* dan *sensor*; seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Karakteristik sebuah *embedded-systems* yakni: *application and domain specific, reactive and real-time, operates in harsh environments, distributed, small size and weight, power concerns, single-functioned, complex functionality, tightly-constrained, safety-critical* [18][19][21].

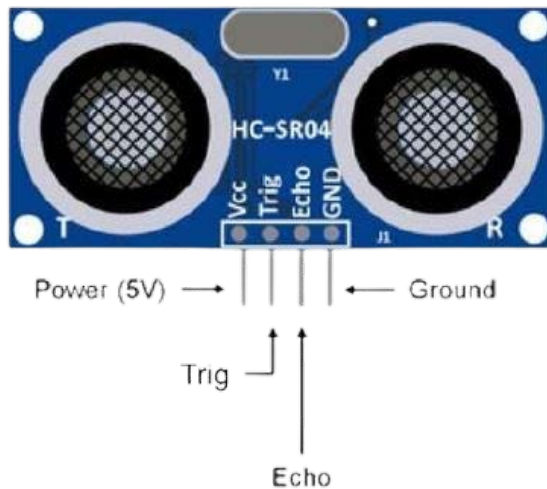


Gambar 4. Bidang-bidang pembentuk *embedded-systems* [11][19][21]

Pada terapan konvergensi bidang telekomunikasi dan sistem komputer membutuhkan sebuah komponen utama yakni *sensor*. Komponen pendamping *sensor* adalah *actuator*; *sensor* merupakan suatu *instrument* yang digunakan untuk mendeteksi adanya perubahan lingkungan fisik atau kimia yakni *solid, air/gas*, dan fluida. Sedangkan *actuator* merupakan perangkat yang digunakan untuk memanipulasi lingkungan fisik seperti: katup pengatur suhu yang digunakan di *smart-home* [4], dimana mentransformasikan sinyal *analog* menjadi nilai kuantitatif atau dalam bentuk aktualitas [7][15][20].

Pada penelitian ini *sensor* yang digunakan adalah *sensor* ultrasonik HC-SR04, dimana memiliki empat kaki konduktor (*Pin-Out*), seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Sebagai informasi bahwa *Pin 5V* (*power*) dihubungkan ke *Pin 5V* pada MCU, demikian juga *Pin GND* (*ground*) dihubungkan ke *Pin GND* pada MCU. Sedangkan *Trigger* dan *Echo* dihubungkan ke *pin-pin* MCU jenis ADC (*Analog-to-Digital Converter*)

seperti bila pada ESP-32 yakni: *Pin 2, Pin 15, Pin 4, Pin 16*.



Gbr. 5. *Sensor* ultrasonik HC-SR04

2. Metode Penelitian

Tahapan kegiatan penelitian dimulai dari melakukan observasi perihal lingkungan kerja dan alat yang akan dirancang, lalu dilanjutkan dengan pengumpulan data-data pendukung, selanjutnya ditetapkan hipotesis bahwa alat dapat bekerja terkontrol berdasar deteksi *obstacle* dalam jarak 80 sampai dengan 40 cm. Dilakukan pemodelan dan simulasi menggunakan simulator Wokwi, dan tahapan selanjutnya melakukan perancangan dan pengujian terhadap bak sampah yang telah terotomasi dengan parameter yang diuji adalah jarak dan waktu respon *sensor*. Dan terakhir dilakukan penarikan kesimpulan berdasar hasil pengujian yang telah dilakukan.

Ada dua *sensor* ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk masing-masing difungsikan sebagai *sensor* jarak (dilabelkan label01) dan *sensor* ketinggian sampah (dilabelkan label02). Algoritmanya pada *sensor* label01: “jika jarak < 80 maka tutup terbuka dan led status=ON”; sedangkan algoritma pada *sensor* label02: “jika ketinggian < 10 maka *buzzer* berbunyi dan menampilkan teks pada VDU”. Misalkan teks yang ditampilkan saat sampah di dalam bak sudah penuh adalah “Tempat Sampah Penuh”, sedangkan saat isi bak belum penuh adalah “Kosong”. VDU di sini dimaksudkan *Visual Display Unit*, misalkan LCD (*Liquid Crystal Display*). Pada penelitian ini digunakan jenis LCD LiquidCrystal I2C.

Model sirkuit yang dikembangkan seperti ditunjukkan pada Gambar 6, dan diperjelas kembali pada Gambar 7. Adapun spesifikasi koneksi kaki-kaki

konduktor ditunjukan pada Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 2

Posisi Koneksi Pin pada sensor label01

Kaki Konduktor	Pin pada MCU
Vcc	5 V
Trigger	15
Echo	2
Ground	GND

Tabel 3

Posisi Koneksi Pin pada sensor label02

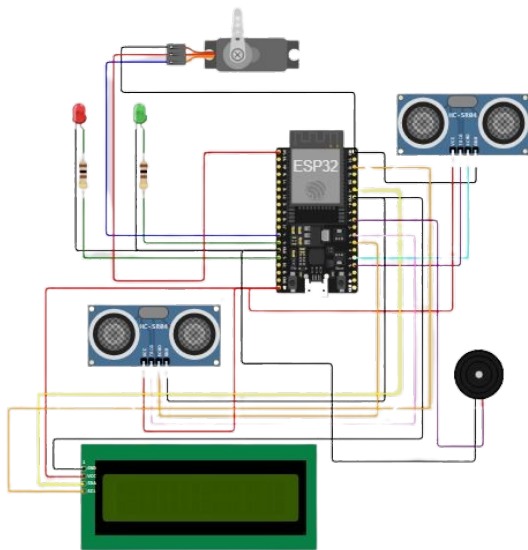
Kaki Konduktor	Pin pada MCU
Vcc	5 V
Trigger	16
Echo	4
Ground	GND

Tabel 4

Posisi Koneksi Pin pada motor servo (tutup bak)

Kaki Konduktor	Pin pada MCU
Ground	GND
Vcc	5 V
PWM	14

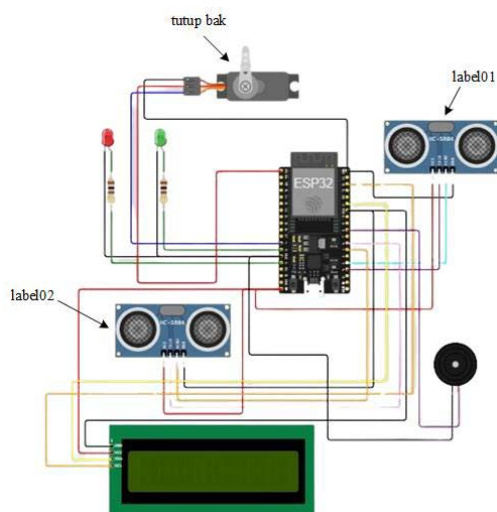
Adapun kaki konduktor pada *buzzer* hanya dua yaitu GND dan *signal*, sehingga agar fungsionalitas *buzzer* dapat dikontrol oleh MCU maka kaki konduktor *signal* dikoneksikan ke *Pin 5* pada MCU. Pada rancangan modul sirkuit digunakan dua LED, LED Merah dan LED Hijau sebagai indikator terhadap hasil sensitivitas yang dibangkitkan oleh masing-masing *sensor*. Agar kuat-arus bisa dikontrol besarannya, maka ditambahkan masing-masing *resistor* ukuran 100 Ω . Dan masing-masing kaki *resistor* dikoneksikan ke *pin-pin* MCU dengan ketentuan LED Merah ke *Pin 13*, sedangkan LED Hijau ke *Pin 12*.



Gbr. 6. Perancangan modul sirkuit

Setiap fungsionalitas komponen dirancang sesuai dengan solusi yang diberikan yakni merancang sebuah *instrument* yakni bak sampah yang telah diotomasi sehingga cara kerja bak sampah berjalan secara *digital* berdasar sensitivitas objek. Sentivitas objek yang ditetapkan pada penelitian ini yakni jarak *obstacle* di depan bak sampah dan ketinggian sampah di dalam bak.

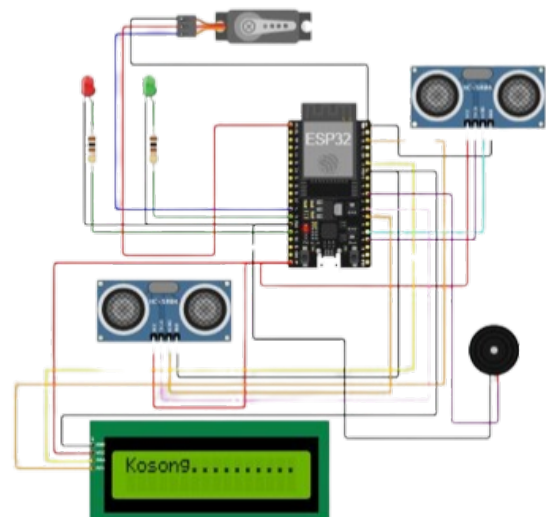
Simulasi menggunakan app Wokwi yang bekerja secara *cloud*, dimana instalasi aplikasi tidak dibutuhkan di komputer *local*. Setiap eksekusi proses simulasi berjalan secara *real-time*, sehingga cukup efektif dan efisien untuk digunakan dalam menguji setiap fungsionalitas yang dirancang tanpa ada kekhawatiran bebas *cost* terbangun percuma saat terjadi *error* bahkan komponen rusak fatal.



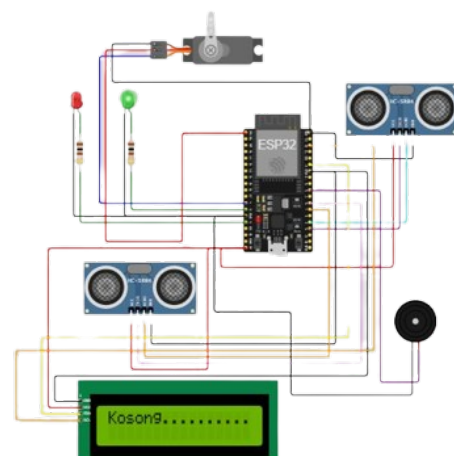
Gbr. 7. Uraian analogi setiap komponen pada modul sirkuit

Diperlihatkan hasil rancangan untuk setiap skenario yang disusun yakni: tidak ada sampah, *obstacle* tidak terdeteksi; tidak ada sampah *obstacle* terdeteksi; sampah penuh *obstacle* terdeteksi. Hasil simulainya ditunjukkan pada Gambar 8, Gambar 9, Gambar 10.

Seperti sebelumnya telah dijelaskan bahwa motor servo diilustrasikan sebagai tutup bak, yang akan mendeteksi ketinggian sampah di dalam bak. Dan jangkauan ketetapan ketinggian dari tutup bagian dalam bak kurang-dari 10 cm. Nilai ini bisa dinamis bergantung terhadap kondisi di dalam bak sampah, sehingga bila diamati masih cukup lebar maka nilai dapat dimodifikasi pada instruksi program. Peran *buzzer* untuk memberi notifikasi bahwa sampah sudah saatnya diambil. Hal ini bermanfaat untuk menciptakan lingkungan ruang yang higienis, yakni sehat dan bersih.

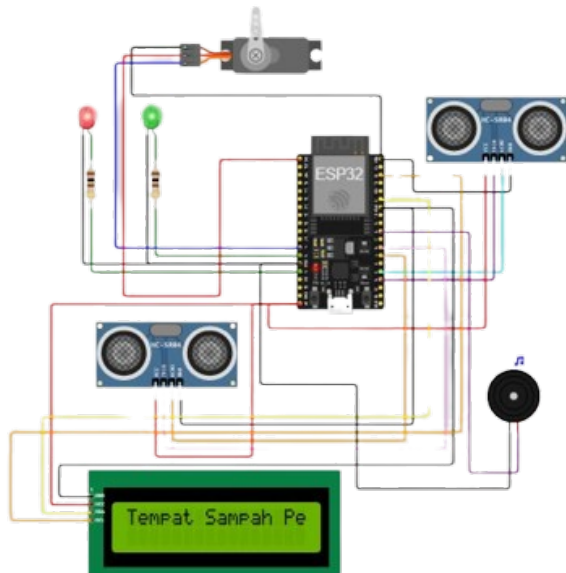


Gbr. 8. Skenario: tidak ada sampah, obstacle tidak terdeteksi



Gbr. 9. Skenario: tidak ada sampah obstacle terdeteksi

Pada LCD ditampilkan kalimat “Tempat Sampah Penuh” saat ketinggian sampah di dalam bak kurang-dari 10 cm. Cara kerjanya adalah *sensor* label02 mendeteksi *obstacle* teratas dari tumpukan sampah, sehingga dalam *Optical LOS* sesuai persamaan (1) akan memicu *buzzer* berbunyi dan teks ditampilkan pada LCD.



Gbr. 10. Skenario: sampah penuh *obstacle* terdeteksi



Gbr. 11. *Sample* bak sampah yang diotomasi

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam hal membuktikan apakah alat telah berjalan dengan baik, maka sejumlah rangkaian pengujian telah dilakukan dengan fokus pada *sensor* label01, seperti ditampilkan pada Tabel 6; dan *sensor* label01 pada Tabel 7. *Sensor* label01 mengukur jarak *obstacle* yang mendekati bak sampah. Saat berada pada *Optical LOS*, maka tutup terbuka dan LED Hijau menyala. Skenario pengujian ditetapkan dengan posisi *obstacle* berjarak 80 cm di depan bak sampah. Alasan memilih 80 cm, karena nilai ini yang di-*set* pada instruksi program di MCU. Pengamat akan mengukur waktu-respon *sensor* dengan melihat tutup bak terbuka. Pada proses pengukuran ini tidak dapat dikesampingkan aspek subjektivitas dari pengamat saat melihat tutup terbuka dan *stopwatch* dihentikan.

Adapun skenario pengujian pada *sensor* label02 yang mengukur ketinggian sampah terhadap tutup, disusun dengan cara dimasukan berbagai sampah kertas atau sampah-sampah *solid* (oleh sebab *sample* tempat adalah ruang-ruang perkantoran atau ruang kerja). Lebih teknisnya pengamat memasukkan *sampel-sample* sampah kertas atau sejenis ke dalam bak, diupayakan intervensi sampai pada ketinggian kurang-dari 10 cm. Walaupun dapat dipahami bahwa sangat sulit memastikan ketinggian sampah terhadap tutup bak adalah benar-benar kurang-dari 10 cm. Namun *sensor* label02 sudah di-*set* mengukur *Optical LOS* setinggi kurang-dari 10 cm, sehingga diasumsikan saat *buzzer* telah berbunyi maka pengamat menghentikan *stopwatch*.

Salah satu kekurangan rancangan *prototype* bak sampah ini bahwa *instrument* semestinya diletakkan di luar bak, bukan di dalam bak seperti ditunjukkan pada Gambar 14. Hal ini akan mengaburkan sensitivitas *Optical LOS sensor* label02 karena menginterpretasikan instrumen *board* MCU sebagai sampah yang harus dibuang.

Secara keseluruhan berdasar pengamatan bahwa alat yang telah dirancang; yakni bak sampah yang telah diotomasi, telah berjalan dengan baik sesuai desain dan model yang telah dibangun sebelumnya. Hal ini bisa dibuktikan berdasar hasil simulasi dan tabel hasil pengamatan langsung dengan menggunakan alat-ukur *stopwatch*. Kriteria alat telah berjalan dengan baik dilihat dari rata-rata waktu-respon sensitivitas *obstacle* kurang dari lima detik.

Tabel 7

Pengujian sensitivitas objek untuk ketinggian kurang-dari 9 cm

Pengujian ke-i	Waktu-respon (dalam detik)
1	3
2	2
3	2
4	2
5	3
$\Delta = 2.4$	

Gbr. 12. Instrumen bak sampah yang telah diotomasi

Tabel 5

Posisi Koneksi Pin pada LCD

Kaki Konduktor	Pin pada MCU
Ground	GND
Vcc	5 V
SDA	21
SCL	22

Tabel 6

Pengujian sensitivitas objek untuk jarak = 80 cm

Pengujian ke-i	Waktu-respon (dalam detik)
1	1
2	2
3	2
4	1
5	2
6	2
7	2
8	2
9	2
10	1
$\Delta = 1.7$	

Gbr. 13. Bak sampah saat mendeteksi *obstacle*



Gbr. 14. Lokasi instrumen MCU pada bak sampah

4. Kesimpulan

Sensitivitas sensor bergantung pada kapabilitas dari komponen tersebut dalam membangkitkan kemampuan *Line-of-Sight* sebagai parameter jangkauan *transmitter* terhadap *receiver*. Disamping juga model rancangan yang baik akan mempengaruhi kinerja saat alat yang dirancang sedang bekerja. Dan bahwa besaran sensitivitas; yang disebut dengan waktu-respon, berdasar hasil pengujian dimungkinkan dipengaruhi oleh nilai *Line-of-Sight* yang ditetapkan; dimana pada penelitian ini dinyatakan dalam jarak antara *sensor* terhadap *obstacle*.

Otomasi pada bak sampah; yang sebelumnya konvensional, telah berhasil dan berjalan dengan baik dibuktikan dengan diperolehnya serangkaian waktu-respon dengan berbagai skenario jarak jangkauan yang ditetapkan. Walaupun sebelumnya harus diperhitungkan tata-letak dan lokasi penempatan dari instrumen pendukung; khususnya MCU dan *board* sirkuit di dalamnya, agar saat *sensor* bekerja tidak bisa mendeteksi objek lain yang semestinya adalah sampah.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Institut Digital Ekonomi LPKIA Bandung atas penyediaan infrastruktur saat pengembangan alat dan pengujian berlangsung. Terlebih lagi pada dukungan sumber-daya selama perancangan dilakukan seperti *lay-out* ruangan perkantoran sebagai *sample* tempat dimana bak sampah dilokasikan.

Referensi

- [1] M. H. Sale, Q. SH. Hamad. "Wireless Home Automation System Based On Microcontroller". *Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 12, No. 11. 2017.
- [2] A. Khandekar, M. Basvankar, A. Sayed. "Industrial Automation using Microcontroller". *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. 2017.
- [3] G. A. López-Ramírez, A. Aragón-Zavala. "Wireless Sensor Networks for Water Quality Monitoring: A Comprehensive Review". *IEEE Access*, Volume: 11. 2023.
- [4] S.N.M.P. Simamora, A.A. Manik, A. Fauzan. "Teknik Kontrol Otomatik Sebagai Dukungan Desain Rumah Pintar Terpadu". *Jurnal Mikrotek, Program studi Teknik Mekatronika, Univ. Trunojoyo*. Vol.1 No.3, Agustus 2014. hal.147-154. ISSN: 2338-9460.
- [5] Lun-De L., dkk. "Design and Validation of a Multifunctional Android-Based Smart Home Control and Monitoring System". *IEEE Access*, Volume: 7. 2019.
- [6] A. Boni, dkk. "NB-IoT and Wi-Fi Technologies: An Integrated Approach to Enhance Portability of Smart Sensors". *IEEE Access*, Volume: 9. 2021.
- [7] S.N.M.P. Simamora. "Mengenal Sensor dan Actuator dalam Microcontroller". *Koran Bernas*. tgl.18 Desember 2022. [Online]. Tersedia: <https://koranbernas.id/mengenal-sensor-dan-actuator-dalam-microcontroller>
- [8] S. Nawaz, C. Efstratiou, C. Mascolo. "Smart Sensing Systems for the Daily Drive". *IEEE Pervasive Computing*, Volume: 15, Issue: 1. 2016.
- [9] H. Kwon, dkk. "Optimized Implementation of SM4 on AVR Microcontrollers, RISC-V Processors, and ARM Processors". *IEEE Access*, Volume: 10. 2022.
- [10] E. A. Azhar, dkk. "Demonstration of an Integrated Inorganic–Organic IoT-Enabled System With PV and Electrochromic Devices for Autonomous Smart Windows". *IEEE Journal of Photovoltaics*, Volume: 13, Issue: 1. 2023.
- [11] T. Z. Khan, A. Adhikary, Md. A. Rahman Khan. "Microcontroller based Industrial Automation System using Temperature Sensor and Output Logic Control". *International Journal of Computer Applications* Volume 178 – No. 43, August 2019.
- [12] S.N.M.P. Simamora. "Pemodelan Kontroler-Otomatik dengan Intervensi pada Pengendali Temperatur Tanah dan Kelembaban". *Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi (Lofian)*. Vol 3 No 2: Februari. 2024. Universitas Mandiri Bina Prestasi (UMBP) Medan. hal.25-28. ISSN: 2798-9593.
- [13] B. Sudharsan, J. G. Breslin, M. I. Ali. "ML-MCU: A Framework to Train ML Classifiers on MCU-Based IoT Edge Devices". *IEEE Internet of Things Journal*, Volume: 9, Issue: 16. 2022.
- [14] M. Götz, dkk. "Benchmarking-Based Investigation on Energy Efficiency of Low-Power Microcontrollers". *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Volume: 69, Issue: 10. 2020.
- [15] S.N.M.P. Simamora. "Implementasi Automatic Number Plate Recognition pada Terapan Kebutuhan". *Koran Rakyatsultra.id* Edisi 4 November 2023. [Online]. Tersedia: <https://www.rakyatsultra.id/opini/503221485/implementasi-automatic-number-plate-recognition-pada-terapan-kebutuhan>
- [16] Ching-Han, C., Ming-Yi L., Chung-Chi L. "Edge Computing Gateway of the Industrial Internet of Things Using Multiple Collaborative Microcontrollers". *IEEE Network*, Volume: 32, Issue: 1. 2018.
- [17] S. Hild, dkk. "Smart Charging Technologies for Portable Electronic Devices". *IEEE Transactions on Smart Grid*, Volume: 5, Issue: 1. 2014.
- [18] M. Khonneux, J. Louveaux, D. Bol. "A Sub-mW Cortex-M4 Microcontroller Design for IoT Software-Defined Radios". *IEEE Open Journal of Circuits and Systems*, Volume: 4. 2023.
- [19] A. Maiti, A. Raza, B. H. Kang. "Teaching Embedded Systems and Internet-of-Things Supported by Multipurpose Multiobjective Remote Laboratories". *IEEE Transactions on Learning Technologies*, Volume: 14, Issue: 4. 2021.
- [20] Tsai-Kan C., dkk. "Low-Power MCU With Embedded ReRAM Buffers as Sensor Hub for IoT Applications". *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, Volume: 6, Issue: 2. 2016.
- [21] M. Giordano, dkk. "Design and Performance Evaluation of an Ultralow-Power Smart IoT Device With Embedded TinyML for Asset Activity Monitoring". *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Volume: 71. 2022.