

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Perkembangan teknologi dalam pengelolaan sampah rumah tangga, khususnya sampah kompos, mendorong pemanfaatan sistem informasi berbasis mikrokontroler yang mampu memberikan informasi kondisi tempat sampah secara *real-time*. Sistem berbasis mikrokontroler dinilai sesuai untuk aplikasi rumah tangga karena bersifat mandiri, mudah dioperasikan, serta tidak bergantung pada koneksi jaringan. Oleh karena itu, kajian terhadap penelitian terdahulu yang membahas perancangan komposter aerobik tertutup, pemantauan tingkat kepenuhan, penyajian informasi melalui LCD, penerapan *Real Time Clock* (RTC), serta pengendalian sistem secara manual dan otomatis menjadi landasan dalam pengembangan penelitian ini.

Penelitian yang dilakukan oleh Buntulilin et al., (2024) membahas perancangan sistem monitoring tempat sampah berbasis mikrokontroler dengan sensor ultrasonik sebagai pendeteksi tingkat kepenuhan. Sistem ini mampu memantau kondisi tempat sampah secara *real-time* berdasarkan hasil pembacaan sensor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor *level* dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan volume sampah secara konsisten, sehingga membantu pengguna dalam mengetahui kondisi tempat sampah tanpa pemeriksaan manual.

Penelitian oleh Rizqi Pratama et al., (2024) mengembangkan sistem monitoring tempat sampah pintar yang berfokus pada pemantauan tingkat kepenuhan tempat sampah menggunakan sensor *level*. Sistem dirancang untuk memberikan informasi kondisi tempat sampah secara langsung kepada pengguna. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis mikrokontroler mampu bekerja dengan baik dan mendukung pengelolaan sampah rumah tangga agar lebih tertata dan efisien.

Penelitian yang dilakukan oleh Dendy Kurniawan, (2025) membahas perancangan sistem *smart trash bin* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dirancang untuk memantau tingkat kepenuhan tempat sampah secara otomatis serta mengirimkan notifikasi secara *real-time* kepada petugas kebersihan. Sistem ini memanfaatkan sensor ultrasonik untuk mendeteksi *level* volume sampah dan sensor gas MQ-4 untuk mengidentifikasi adanya bau sebagai indikator penumpukan sampah. NodeMCU digunakan sebagai mikrokontroler

utama yang mengolah data sensor dan mengirimkan informasi melalui aplikasi Telegram ketika kapasitas tempat sampah telah mencapai batas yang ditentukan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan respon yang akurat terhadap kondisi kepenuhan serta meningkatkan efektivitas pengelolaan kebersihan. Penerapan batas kapasitas (*set point*) berdasarkan pembacaan sensor tersebut relevan dengan pengembangan mode operasi otomatis pada sistem komposter aerobik tertutup, khususnya dalam mendukung efisiensi dan responsivitas pengelolaan sampah.

Penelitian yang dilakukan oleh Rai & Goyal (2020) dalam artikel *Waste Management Through Smart Bin* mengusulkan sebuah sistem *smart bin* yang dirancang untuk memantau jumlah sampah di dalam tempat sampah secara *real-time* dan mengirimkan data secara kontinu melalui jaringan nirkabel untuk mendukung proses pengelolaan sampah yang lebih efisien. Sistem ini menggunakan sensor untuk mengukur *level* sampah dan dikoneksikan dengan modul Wi-Fi yang memungkinkan data *real-time* dikirimkan ke pihak pengelola sehingga mereka dapat mengetahui status tempat sampah tanpa inspeksi manual. Implementasi *smart bin* diuji di lingkungan luar ruangan dan hasilnya menunjukkan bahwa sistem mampu mengumpulkan data *level* sampah secara terus-menerus, memberikan informasi yang tepat waktu serta membantu perencanaan pengumpulan dan pembersihan yang lebih teratur. Penerapan pembacaan sensor *level* ini sejalan dengan pengembangan mode operasi otomatis dalam sistem komposter aerobik tertutup, karena mampu memberikan informasi kondisi tempat sampah secara langsung dan mendukung efisiensi pengelolaan sampah secara keseluruhan.

Selain pemantauan kepenuhan, penyajian informasi kepada pengguna juga menjadi aspek penting dalam sistem smart trash. Penelitian oleh Dr. Sudha L K, (2023) membahas perancangan *smart dustbin monitoring system* berbasis mikrokontroler Arduino UNO yang dilengkapi dengan sensor ultrasonik dan tampilan LCD sebagai antarmuka pengguna. LCD digunakan untuk menampilkan data hasil pembacaan sensor secara langsung sehingga kondisi *level* sampah dapat dipahami dengan mudah oleh pengguna. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan LCD efektif sebagai media tampilan dalam sistem monitoring berbasis mikrokontroler karena mampu menyajikan informasi *level* sampah secara *real-time* dan meningkatkan kesadaran pengguna terhadap kondisi tempat sampah.

Terkait dengan pengelolaan sampah organik dan kompos di tingkat rumah tangga, Badan Riset dan Inovasi Nasional BRIN (2023) aktif melakukan kajian dan diseminasi

teknologi pengelolaan sampah, termasuk pengomposan sampah organik yang berasal dari limbah rumah tangga untuk menjaga kebersihan dan keteraturan lingkungan. BRIN melalui berbagai riset dan penyuluhan menekankan pentingnya pemanfaatan komposter yang terkontrol dalam memproses sampah rumah tangga menjadi kompos guna mengurangi volume limbah yang masuk ke TPA dan mendukung praktik 3R (*reduce, reuse, recycle*), serta meningkatkan pemahaman masyarakat terhadap penanganan sampah organik secara efektif di rumah tangga. Meskipun fokus kajian BRIN lebih banyak pada aspek teknis dan penerapan teknologi pengomposan, seperti desain komposter aerobik dan pelatihan pemanfaatannya, hal ini menunjukkan bahwa pengelolaan kapasitas dan periode penggunaan wadah kompos menjadi bagian dari strategi pengelolaan sampah rumah tangga yang perlu diperhatikan dalam upaya menjaga kebersihan lingkungan rumah tangga secara berkelanjutan.

Kemudian pada penelitian yang berfokus pada perancangan alat pengomposan aerobik dilakukan oleh Akbari & Khadijah (2024) melalui jurnal *Pengolahan Sampah Organik Rumah Tangga Menggunakan Komposter Aerobik*. Penelitian ini bertujuan mengembangkan komposter aerobik yang lebih terpadu dibandingkan komposter konvensional yang telah ada sebelumnya. Pengujian dilakukan dengan mengomposkan sampah organik rumah tangga menggunakan dua variasi komposisi bahan baku, yaitu limbah sayur, kulit buah, dan limbah nasi, dengan serta tanpa penambahan tepung cangkang telur. Proses pengomposan berlangsung selama 28 hari dengan bantuan aktivator EM4 dan starter kompos organik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposter aerobik yang dirancang memiliki tiga bagian utama, yaitu bagian pencacahan, pengomposan, dan penampungan lindi, sehingga meningkatkan kepraktisan penggunaan. Selain itu, kualitas kompos yang dihasilkan telah memenuhi standar nasional berdasarkan parameter suhu, kelembapan, pH, dan rasio C/N sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Peraturan Menteri Pertanian Republik Indonesia. Karakteristik desain komposter yang tertutup dan terpadu menunjukkan bahwa sistem ini memungkinkan proses pengomposan dilakukan di lingkungan yang lebih terkontrol, sehingga berpotensi diterapkan pada area tertutup dengan gangguan lingkungan yang minimal.

Penelitian yang dilakukan oleh Nadia Regita Pramesti et al., (2023) membahas pengelolaan sampah basah rumah tangga melalui metode pengomposan Takakura dengan penambahan bioaktivator di TPS 3R Desa Adat Seminyak. Penelitian ini menitikberatkan

pada proses pengomposan dalam wadah komposter dengan pengamatan terhadap parameter penting seperti suhu, kadar air, pH, serta rasio C/N untuk menentukan kualitas kompos yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengelolaan sampah organik dalam wadah yang sesuai serta pemantauan kondisi selama proses pengomposan sangat berpengaruh terhadap keberhasilan pembentukan kompos yang matang dan sesuai standar. Meskipun penelitian ini lebih berfokus pada aspek proses biologis dan kualitas hasil kompos, temuan tersebut menunjukkan pentingnya pengelolaan dan pengawasan kondisi wadah komposter dalam mendukung pengelolaan sampah rumah tangga secara efektif.

Selain itu, dokumen yang diterbitkan oleh Departemen Pertanian (2009) memberikan acuan mengenai karakteristik dan pengelolaan kompos yang baik. Dokumen ini menegaskan bahwa keteraturan penggunaan wadah kompos dan pengelolaan kapasitas menjadi faktor penting dalam mendukung pengelolaan sampah organik rumah tangga yang efektif.

Berdasarkan kajian terhadap penelitian-penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa sebagian besar penelitian telah membahas pemantauan tingkat kepenuhan tempat sampah dan penyajian informasi berbasis mikrokontroler. Namun, masih terbatas penelitian yang secara khusus mengintegrasikan pemantauan tingkat kepenuhan tempat sampah kompos rumah tangga berkapasitas 60 liter, penyajian informasi waktu dan hari penggunaan menggunakan *Real Time Clock* (RTC), serta penerapan mode operasi manual dan otomatis dalam satu sistem informasi terintegrasi tanpa menggunakan jaringan IoT. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada perancangan dan implementasi sistem informasi komposter aerobik tertutup berbasis mikrokontroler yang mampu memantau kondisi tempat sampah kompos secara *real-time*, menampilkan informasi tingkat kepenuhan dan waktu penggunaan melalui LCD, serta mendukung pengelolaan sampah rumah tangga agar lebih praktis dan efisien sesuai dengan batasan masalah yang ditetapkan.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sampah Organik

Sampah organik merupakan jenis sampah yang berasal dari sisa makhluk hidup, baik yang bersumber dari tumbuhan maupun hewan, dan memiliki sifat mudah terurai secara biologis melalui aktivitas mikroorganisme. Dalam skala rumah tangga, sampah organik umumnya terdiri atas sisa makanan, sayuran, buah-buahan, serta limbah dapur lainnya. Berdasarkan karakteristiknya, sampah organik memiliki kandungan air yang relatif tinggi dan mudah mengalami proses pembusukan apabila tidak dikelola dengan baik.

Permasalahan utama dalam pengelolaan sampah organik rumah tangga tidak hanya berkaitan dengan volume, tetapi juga dampak lingkungan yang ditimbulkannya. Sampah organik yang dibiarkan menumpuk akan mengalami dekomposisi secara tidak terkontrol, menghasilkan bau tidak sedap, air lindi, serta gas rumah kaca seperti metana. Selain menurunkan kualitas lingkungan, kondisi ini juga berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan akibat berkembangnya mikroorganisme patogen dan hama Sufiyanto et al., (2023).

Di sisi lain, sampah organik sebenarnya memiliki potensi besar untuk diolah menjadi kompos yang bermanfaat bagi tanah dan tanaman. Namun, praktik pengomposan rumah tangga masih menghadapi berbagai kendala, seperti proses yang memerlukan waktu lama, kebutuhan pemantauan manual yang intensif, serta munculnya bau tak sedap selama proses berlangsung Ayilara et al., (2020). Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem pengomposan yang mampu mengelola sampah organik secara lebih terkontrol, efisien, dan praktis berbasis teknologi agar dapat diterapkan secara luas di lingkungan rumah tangga Rahman et al., (2024)

2.2.2 *Pengomposan Aerob*

Pengomposan Pengomposan aerobik merupakan proses penguraian material organik yang berlangsung dengan adanya suplai oksigen. Dalam proses metabolisme biologis secara aerobik, mikroorganisme menguraikan bahan organik menjadi senyawa yang lebih stabil dengan menghasilkan karbon dioksida (CO_2), air, dan energi dalam bentuk panas Nur et al., (2018). Panas yang muncul selama proses ini merupakan indikator bahwa aktivitas mikroba berlangsung secara aktif. Dibandingkan metode anaerob, pengomposan aerobik lebih cepat, lebih efisien, serta tidak menimbulkan bau menyengat karena tidak menghasilkan gas seperti metana dan hidrogen sulfida dalam jumlah signifikan.

Berdasarkan cara pemberian bahan organik, proses pengomposan secara umum dapat dilakukan menggunakan sistem batch maupun *semi-continuous (fed-batch)*. Pada sistem batch, seluruh bahan organik dimasukkan ke dalam reaktor pada awal proses dan dibiarkan terdekomposisi hingga mencapai kondisi matang tanpa penambahan bahan baru selama proses berlangsung. Sistem ini biasanya menunjukkan tahapan pengomposan yang lebih jelas, seperti fase mesofilik, termofilik, pendinginan, dan pematangan.

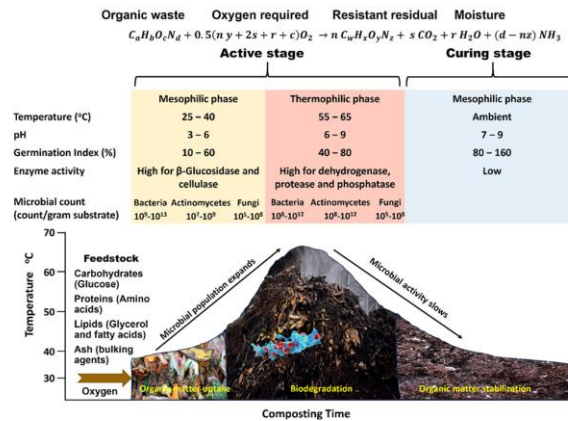
Berbeda dengan sistem *batch*, pada sistem *semi-continuous* bahan organik dapat ditambahkan secara berkala selama proses pengomposan berlangsung. Penambahan bahan

secara berulang menyebabkan material di dalam reaktor memiliki tingkat dekomposisi yang berbeda, sehingga beberapa fase pengomposan dapat terjadi secara bersamaan di dalam satu reaktor. Sistem ini umum digunakan pada komposter skala rumah tangga karena limbah organik biasanya dihasilkan setiap hari. Selain itu, proses pengomposan pada sistem *fed-batch* umumnya berlangsung pada rentang suhu yang lebih rendah dibandingkan sistem *batch*, biasanya berada di bawah 50 °C, karena bahan organik baru terus ditambahkan sehingga kondisi reaktor cenderung stabil pada fase mesofilik Narihiro & Hiraishi (2005).

Proses pengomposan aerobik secara konvensional berlangsung melalui beberapa fase yang ditandai oleh perubahan suhu dan aktivitas mikroorganisme. Pada tahap awal terjadi fase mesofilik dengan kisaran suhu sekitar 25–40°C. Pada fase ini mikroorganisme mesofilik mulai menguraikan bahan organik yang mudah terdegradasi seperti karbohidrat sederhana. Aktivitas mikroba tersebut menyebabkan suhu kompos meningkat secara bertahap. Pada tahap ini aktivitas enzim seperti β -glukosidase dan selulase cukup tinggi, yang berperan dalam proses awal dekomposisi bahan organik.

Seiring meningkatnya suhu, proses pengomposan memasuki fase termofilik dengan suhu berkisar 55–65°C. Fase ini merupakan tahap dekomposisi paling aktif, di mana mikroorganisme termofilik mendominasi dan mampu menguraikan senyawa organik yang lebih kompleks. Pada fase ini aktivitas enzim seperti dehidrogenase, protease, dan fosfatase meningkat sehingga proses biodegradasi berlangsung lebih intensif. Selain itu, suhu tinggi pada fase termofilik juga berperan dalam menekan keberadaan mikroorganisme patogen.

Berdasarkan tahapan tersebut, fase mesofilik dan termofilik termasuk dalam tahap aktif pengomposan (*active stage*) yang ditandai oleh aktivitas mikroorganisme yang tinggi serta peningkatan suhu akibat proses biodegradasi. Sementara itu, tahap pematangan atau curing stage merupakan fase akhir ketika aktivitas mikroba menurun dan bahan organik telah mengalami stabilisasi.



Gambar 2. 1 Tahapan proses pengomposan aerobik (Salih et al., 2026)¹

Berdasarkan tahapan pengomposan yang ditunjukkan pada Gambar 2.1, setiap fase memiliki karakteristik suhu serta mikroorganisme dominan yang berbeda. Ringkasan mikroorganisme dominan pada tahapan pengomposan aerobik tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Mikroorganisme dominan pada berbagai tahapan proses pengomposan Ho et al., (2022)

Tahapan Pengomposan	Mikroba Dominan	Suhu Maksimum (°C)
Mesofilik	Pseudomonas, Bacillus, Flavobacterium, Alternaria, Cladosporium,	20-40 °C
Termofilik	Bacillus, Thermus, Aspergillus, Chaetomium	40-65 °C
Pendinginan	Pseudomonas, Bacillus,	40-45 °C
Pematangan	Alternaria, Aspergillus	Suhu Lingkungan

Keberhasilan proses ini sangat ditentukan oleh keseimbangan tiga faktor utama, yaitu suhu, kelembapan, dan pH Citra Kurnia et al., (2017). Suhu berfungsi sebagai penanda aktivitas mikroorganisme, kondisi hangat sangat dibutuhkan untuk mempercepat penguraian, namun suhu yang terlalu ekstrem (terlalu panas atau dingin) justru dapat

¹ Salih, H. G., Saady, N. M. C., Zhang, B., & Albayati, T. M. (2026). The role of microbial inoculum in improving composting performance and promoting compost maturation: A review. *Green Technologies and Sustainability*, 4(2), 100316. <https://doi.org/10.1016/j.grets.2025.100316>

menghentikan aktivitas mikroba. Selain suhu, kelembapan juga mutlak diperlukan untuk mendukung metabolisme mikroba, tetapi kadar air harus dijaga agar tidak berlebihan. Jika tumpukan terlalu basah, air akan menutup pori-pori material dan menghalangi masuknya oksigen. Padahal, oksigen adalah elemen paling krusial apabila suplainya kurang, proses akan berubah menjadi anaerob yang memicu bau busuk dan memperlambat pembentukan kompos. Oleh karena itu, proses pengomposan perlu dilakukan dengan menjaga tingkat kelembapan antara 50–60%, serta mempertahankan suhu optimal pada rentang 30–40°C agar aktivitas mikroorganisme aerob dapat berlangsung secara maksimal Rudiansyah et al., (2025)

2.2.3 Komposter Tertutup

Komposter tertutup (*in-vessel composter*) merupakan sistem pengomposan aerobik yang dilakukan di dalam reaktor atau wadah tertutup sehingga kondisi proses dapat dikendalikan lebih baik dibanding metode terbuka. Dalam sistem ini, pengaturan aerasi (oksigen), suhu, dan kelembapan menjadi kunci untuk menjaga aktivitas mikroorganisme pengurai tetap optimal, mempercepat dekomposisi, serta menekan bau dan potensi patogen. Perancangan komposter tertutup berbentuk silinder dengan ruang reaksi tertutup memungkinkan proses berlangsung lebih higienis dan stabil karena lingkungan reaktor relatif terisolasi dari pengaruh cuaca luar. Sistem tertutup juga membantu mempertahankan fase termofilik sehingga proses pengomposan berlangsung lebih efisien dalam waktu yang lebih singkat Malakahmad et al., (2017).

Dari sisi teknis, komposter tertutup umumnya dilengkapi mekanisme pengaduk (agitator) untuk meratakan distribusi oksigen dan mencegah terbentuknya zona anaerob di dalam massa bahan. Pengadukan berkala terbukti meningkatkan homogenitas campuran dan laju dekomposisi. Selain itu, pengaturan komposisi bahan (rasio C/N) dan kadar air berpengaruh langsung terhadap kualitas kompos yang dihasilkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengendalian parameter proses di dalam reaktor tertutup mampu mempercepat stabilisasi bahan organik dan menghasilkan kompos dengan karakteristik yang lebih konsisten dibandingkan sistem terbuka, sekaligus menurunkan gangguan bau selama operasi Divyabharathi et al., (2020) .

2.2.4 Local display

Sistem *local display* pada sistem komposter aerobik tertutup kompos rumah tangga

berperan sebagai antarmuka utama antara sistem dan pengguna (*Human–Machine Interface/HMI*) yang memungkinkan proses penyampaian informasi dilakukan secara langsung, *real-time*, dan mudah dipahami. Pada penelitian ini, media yang digunakan adalah *Thin Film Transistor Liquid Crystal Display* (TFT LCD), yaitu jenis LCD yang menggunakan transistor film tipis untuk mengontrol setiap piksel sehingga mampu menghasilkan tampilan berwarna, resolusi lebih tinggi, serta kualitas visual yang lebih tajam dibandingkan LCD karakter konvensional. Keunggulan TFT LCD tidak hanya terletak pada kemampuannya menampilkan teks, tetapi juga mendukung elemen grafis seperti ikon, grafik batang (*bar indicator*), simbol status, dan menu interaktif. Dalam pengembangan sistem *embedded*, penggunaan display grafis direkomendasikan karena mampu meningkatkan efektivitas interaksi pengguna dan keterbacaan informasi melalui penyajian data yang lebih visual dan terstruktur Singh et al., (2024) .

Secara konseptual, *local display* merupakan bagian dari sistem informasi berbasis mikrokontroler yang bertugas menyajikan hasil akuisisi data sensor dan pengolahan data secara langsung di perangkat. Sistem informasi dalam konteks *embedded* tidak selalu terhubung dengan jaringan atau basis data eksternal, melainkan lebih berfokus pada pembacaan sensor, pemrosesan data secara *real-time*, dan penyajian *output* melalui perangkat *local display*. Implementasi sistem monitoring berbasis mikrokontroler yang menampilkan parameter lingkungan melalui LCD telah banyak dikembangkan, misalnya pada sistem pemantauan suhu dan kelembapan berbasis Arduino yang menampilkan data secara langsung sebagai bentuk umpan balik bagi pengguna Mufti Abdurrohman et al., (2023). Hal ini menunjukkan bahwa tampilan lokal memiliki peran penting dalam memastikan informasi sensor dapat diakses secara cepat dan praktis tanpa memerlukan perangkat tambahan.



Gambar 2. 2 TFT LCD²

Pada sistem komposter aerobik tertutup kompos rumah tangga, TFT LCD digunakan untuk menampilkan beberapa parameter utama yang menjadi indikator kondisi tempat sampah. Informasi yang disajikan meliputi suhu dan kelembapan di dalam tong kompos sebagai indikator proses dekomposisi, tingkat kepenruhan tong sampah berdasarkan sensor ultrasonik, serta kondisi level lindi berdasarkan *water floating* sensor. Data tersebut ditampilkan dalam bentuk teks dan indikator status sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi komposter dengan lebih mudah. Selain itu, sistem juga menampilkan waktu yang diperoleh dari modul *Real Time Clock* (RTC) serta notifikasi apabila lindi telah mencapai batas yang ditentukan. Data tersebut ditampilkan dalam bentuk kombinasi teks numerik dan indikator grafis, seperti grafik batang atau ikon status, sehingga pengguna dapat dengan mudah memahami kondisi sistem secara sekilas. Selain itu, sistem juga menampilkan waktu penggunaan yang diperoleh dari modul *Real Time Clock* (RTC), serta notifikasi peringatan (*warning*) apabila nilai sensor melewati batas *set point* yang telah ditentukan, misalnya suhu terlalu tinggi, kelembapan di luar rentang optimal, atau tong sampah dalam kondisi penuh. Penyajian informasi secara visual ini sejalan dengan konsep sistem monitoring berbasis mikrokontroler yang menampilkan data sensor dan peringatan langsung melalui LCD sebagai bagian dari sistem kendali lokal Singh et al., (2024) .

Selain menampilkan parameter kondisi lingkungan di dalam komposter, sistem juga memberikan informasi mengenai fase pengomposan yang sedang berlangsung. Pada komposter rumah tangga, proses pengomposan umumnya menggunakan sistem *semi-continuous* (*fed-batch*), di mana bahan organik dimasukkan secara bertahap setiap hari. Kondisi ini menyebabkan bahan di dalam komposter memiliki tingkat penguraian yang berbeda-beda sehingga beberapa fase pengomposan dapat terjadi secara bersamaan. Oleh

² TFT LCD Display Module Screen. Retrieved August 23, 2026, from <https://share.google/PV5E6MgEMyq0CdHUO>

karena itu, fase pengomposan pada sistem monitoring ini tidak ditentukan berdasarkan lamanya waktu proses seperti pada sistem *batch*, melainkan menggunakan indikator kondisi proses, yaitu suhu kompos Narihiro & Hiraishi (2005). Suhu merupakan parameter penting yang berkaitan dengan aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik. Dalam sistem ini, fase pengomposan diklasifikasikan berdasarkan kisaran suhu yang terukur, yaitu fase mesofilik pada suhu sekitar 25–40°C, fase termofilik pada suhu di atas $\pm 45^{\circ}\text{C}$, serta fase pematangan ketika suhu kompos mulai menurun dan mendekati suhu lingkungan. Informasi mengenai fase ini kemudian ditampilkan pada TFT LCD sebagai gambaran fase dominan yang sedang terjadi di dalam komposter berdasarkan kondisi suhu yang terbaca secara *real-time*.

Selain mode pemantauan otomatis, *local display* pada sistem ini juga dilengkapi dengan mode manual yang memungkinkan pengguna melakukan pengendalian langsung pada LCD. Melalui menu interaktif pada TFT LCD, pengguna dapat memilih kapan aktivator disemprotkan, serta menyalakan *blower* secara manual. Fitur ini memberikan fleksibilitas dalam pengoperasian, khususnya ketika pengguna ingin melakukan penyesuaian proses komposting di luar pengaturan otomatis. Konsep antarmuka grafis yang menyediakan tombol virtual atau menu pilihan pada sistem *embedded* telah banyak diterapkan dalam pengembangan HMI berbasis mikrokontroler, di mana LCD berfungsi sebagai media interaksi langsung antara pengguna dan sistem kendali tanpa memerlukan komputer tambahan Singh et al., (2024).

Dengan demikian, *local display* berbasis TFT LCD pada sistem komposter aerobik tertutup tidak hanya berfungsi sebagai penampil data, tetapi juga sebagai pusat interaksi dan pengendalian sistem. Integrasi antara pembacaan sensor, pengolahan data *real-time* oleh mikrokontroler, serta penyajian informasi visual yang responsif menjadikan sistem lebih informatif, praktis, dan mudah dioperasikan. Keberadaan *local display* ini mendukung pengelolaan sampah kompos rumah tangga yang lebih terkontrol, efisien, dan *user-friendly* karena pengguna dapat memantau sekaligus mengendalikan proses secara langsung melalui satu perangkat tampilan terpadu.

2.2.5 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 merupakan papan mikrokontroler berbasis ATmega2560 yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem elektronik berskala menengah hingga besar. Dibandingkan dengan Arduino Uno, *board* ini memiliki kapasitas memori dan jumlah pin

yang lebih banyak sehingga lebih sesuai untuk proyek yang membutuhkan banyak komponen *input* dan *output*. Arduino Mega bekerja pada tegangan operasi 5V dan dapat diberi catu daya melalui kabel USB maupun adaptor eksternal dengan tegangan yang disarankan antara 7 sampai 12 volt. Dari sisi spesifikasi, *board* ini menyediakan 54 pin digital (15 di antaranya mendukung PWM) serta 16 pin analog yang dapat digunakan untuk membaca berbagai jenis sensor. Selain itu, tersedia memori *flash* sebesar 256 KB, SRAM 8 KB, dan EEPROM 4 KB yang memungkinkan program dengan ukuran dan kompleksitas lebih tinggi dapat dijalankan dengan baik.

Salah satu kelebihan utama Arduino Mega 2560 adalah tersedianya empat *port* komunikasi serial hardware (UART), yaitu Serial, Serial1, Serial2, dan Serial3. Fitur ini memudahkan pengguna ketika harus menghubungkan beberapa modul komunikasi secara bersamaan, seperti GPS, GSM, Bluetooth, atau WiFi, tanpa mengganggu proses upload program maupun komunikasi dengan komputer. Dengan karakteristik tersebut, Arduino Mega sering dimanfaatkan pada perancangan sistem robotika, otomasi industri, *smart home*, mesin CNC, hingga 3D printer yang melibatkan banyak sensor dan aktuator. Meskipun ukuran fisiknya lebih besar dan harganya relatif lebih tinggi dibandingkan Arduino Uno, penggunaan Arduino Mega 2560 menjadi pilihan yang relevan apabila sistem yang dirancang memerlukan banyak pin, kapasitas memori besar, serta dukungan komunikasi yang lebih dari satu port serial.



Gambar 2. 3 Arduino Mega 2560³

2.2.6 Arduino IDE

Arduino Integrated Development Environment (Arduino IDE) merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah program ke papan

³ *Arduino Mega*. Retrieved August 23, 2026, from <https://share.google/KLaEwYLpdrG80DcBn>

mikrokontroler, termasuk Arduino dan mikrokontroler berbasis Arduino Mega 2560. Arduino IDE menyediakan antarmuka yang sederhana dan mudah digunakan, sehingga banyak dimanfaatkan dalam pengembangan sistem *embedded*, baik untuk keperluan pendidikan maupun penelitian.

Arduino IDE menggunakan bahasa pemrograman berbasis C/C++ yang telah disederhanakan, sehingga memudahkan pengguna dalam mengembangkan program untuk mengendalikan perangkat keras. Lingkungan pengembangan ini dilengkapi dengan editor kode, compiler, serta fasilitas *upload* program ke mikrokontroler melalui koneksi USB. Selain itu, Arduino IDE juga menyediakan fitur Serial Monitor yang memungkinkan pengguna untuk memantau data secara langsung selama proses pengujian dan debugging sistem.



Gambar 2. 4 Arduino IDE⁴

Dalam penelitian ini, Arduino IDE digunakan sebagai *software* utama untuk memprogram sistem komposter aerobik tertutup berbasis Arduino Mega 2560. Melalui Arduino IDE, logika sistem dirancang untuk membaca sensor *level*, suhu dan kelembapan (DHT22), memproses data waktu dari RTC, serta mengontrol output seperti LCD, *blower*, dan aktuator lainnya.

Arduino IDE juga menyediakan berbagai *library* yang memudahkan integrasi antara mikrokontroler dan perangkat pendukung, sehingga pengembangan tidak perlu dimulai dari nol dan bisa dilakukan lebih cepat serta rapi.

Selain itu, Arduino IDE digunakan untuk menerapkan logika kontrol seperti penentuan set point, pengaturan mode manual dan otomatis, serta respon sistem secara *real-time* berdasarkan data sensor maupun input tombol.

Dengan penggunaan Arduino IDE, sistem yang dirancang dapat bekerja lebih stabil,

⁴ *Arduino IDE*. Retrieved August 23, 2026, from <https://share.google/uP1wiWSFv8h0pmkw1>

responsif, dan sesuai kebutuhan, sekaligus mendukung integrasi *hardware* dan *software* secara efektif dalam pengembangan komposter berbasis mikrokontroler.

2.2.7 Ultrasonik

Sensor ultrasonik merupakan perangkat pengukuran berbasis gelombang suara berfrekuensi tinggi (di atas 20 kHz) yang bekerja dengan prinsip pantulan gelombang (*echo*). Sensor ini banyak digunakan untuk pengukuran jarak tanpa kontak langsung (*non-contact measurement*), termasuk dalam sistem pemantauan *level* material pada tong sampah. Pada sistem tersebut, sensor dipasang di bagian atas tutup tong dan mengukur jarak antara sensor dengan permukaan sampah. Nilai jarak yang diperoleh kemudian dikonversi menjadi informasi ketinggian atau persentase kepenuhan tong sampah.

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa sensor ultrasonik efektif digunakan dalam sistem “*smart bin*” untuk mendeteksi tingkat kepenuhan tempat sampah secara *real-time*. Penelitian yang dipublikasikan dalam IJIRT menjelaskan bahwa sensor ultrasonik mampu mengukur jarak antara sensor dan permukaan sampah untuk menentukan status kepenuhan tempat sampah secara akurat dan efisien Kayalvizhi M & Nethaji M (2025). Selain itu, penelitian yang diterbitkan pada IRJET juga memanfaatkan sensor ultrasonik sebagai komponen utama dalam sistem monitoring tempat sampah berbasis mikrokontroler, dengan hasil pengukuran yang stabil dan mudah diintegrasikan dengan sistem IoT More et al., (2025) .

Keunggulan penggunaan sensor ultrasonik dalam pengukuran *level* material pada tong sampah antara lain adalah metode pengukuran tanpa kontak langsung sehingga lebih higienis dan aman, tidak terpengaruh oleh kondisi pencahayaan seperti pada sensor optik, serta memiliki rangkaian yang relatif sederhana dan biaya implementasi yang rendah. Selain itu, sensor ultrasonik mampu bekerja pada berbagai jenis material padat dengan prinsip pantulan gelombang suara. Dasar teori pengukuran ultrasonik dijelaskan dalam dokumen “*Ultrasonic Sensing Basics*” oleh Texas Instruments yang menyatakan bahwa pengukuran jarak dilakukan dengan metode *time-of-flight* (ToF), yaitu menghitung waktu tempuh gelombang ultrasonik dari sensor ke objek dan kembali ke sensor Toa & Whitehead (2021).

Secara teknis, sensor ultrasonik seperti HC-SR04 bekerja dengan mengirimkan pulsa sinyal melalui pin *trigger* selama minimal 10 mikrodetik, kemudian modul akan memancarkan gelombang ultrasonik dengan frekuensi sekitar 40 kHz. Gelombang tersebut akan dipantulkan oleh permukaan objek dan diterima kembali oleh sensor melalui pin *echo*.

Lebar pulsa pada pin *echo* merepresentasikan waktu tempuh gelombang bolak-balik. Penjelasan teknis ini tercantum dalam *datasheet* resmi HC-SR04 yang tersedia secara bebas Ultrasonic Ranging Module HC-SR04 (2010) . Dari waktu tempuh tersebut, jarak antara sensor dan permukaan sampah dihitung dengan persamaan berikut.

$$d = \frac{v \times t}{2} \quad (2.1)$$

Dengan:

- d = jarak antara sensor dan permukaan sampah (cm)
- v = kecepatan rambat suara di udara (cm/ μ s)
- t = waktu tempuh gelombang bolak-balik (μ s)

Pembagian dengan angka dua dilakukan karena waktu yang terbaca pada pin *echo* adalah waktu tempuh gelombang pergi dan kembali, sedangkan yang dibutuhkan hanya jarak satu arah. Kecepatan rambat suara di udara pada suhu 20 °C bernilai sekitar 343 m/s atau setara 0,0343 cm/ μ s, dan angka inilah yang dipakai di dalam program agar hasilnya langsung dalam satuan sentimeter Toa & Whitehead (2021). Pada penerapannya, persamaan 2.1 ditulis menjadi $d = 0,0343 \times t / 2$, atau disederhanakan menjadi $d = t / 58$ seperti yang umum dipakai pada pemrograman HC-SR04. Nilai kecepatan suara sendiri tidak tetap karena dipengaruhi suhu lingkungan, sehingga pembacaan jarak juga ikut bergeser ketika suhu di sekitar sensor berubah.

Jarak hasil pembacaan sensor tersebut belum bisa langsung dijadikan persentase kepenuhan tong. Sensor tidak dipasang tepat di bibir tong melainkan di bawah tutupnya, sehingga selalu ada jarak sisa antara muka sensor dan bibir tong yang ikut terbaca. Selain itu HC-SR04 memiliki jangkauan baca minimal sekitar 2 cm, jadi nilai d tidak akan pernah mencapai nol walaupun sampah sudah menumpuk sampai penuh. Karena itu sistem dikalibrasi lebih dahulu dengan dua titik acuan, yaitu jarak yang terbaca saat tong dalam keadaan kosong dan jarak yang terbaca saat tong dianggap sudah penuh. Kedua nilai tersebut kemudian dipakai untuk memetakan pembacaan sensor ke rentang 0 sampai 100% dengan persamaan berikut.

$$Level (\%) = \frac{H-d}{H} \times 100\% \quad (2.2)$$

Keterangan:

Level (%) : tingkat kepenuhan komposter (%)

H : tinggi total ruang komposter (cm)

d : jarak antara permukaan material dengan sensor ultrasonik (cm)

Nilai *d* kosong diperoleh dengan mengukur jarak dari sensor ke dasar tong dalam keadaan bersih, sedangkan *d* penuh diambil dari jarak sensor ke permukaan sampah pada saat tong dianggap tidak layak diisi lagi. Selisih keduanya merupakan rentang ukur efektif sensor di dalam tong. Nilai hasil perhitungan dibatasi pada rentang 0 sampai 100%, sehingga pembacaan yang lebih jauh daripada *d* kosong tetap dilaporkan sebagai 0% dan pembacaan yang lebih dekat daripada *d* penuh dilaporkan sebagai 100%. Pembatasan ini diperlukan supaya kesalahan pembacaan sesaat, misalnya akibat pantulan yang lemah pada permukaan sampah yang tidak rata, tidak menghasilkan persentase di luar batas wajar.

Untuk mengetahui seberapa dekat pembacaan sensor dengan kondisi yang sebenarnya, hasil pengukuran sensor dibandingkan dengan hasil pengukuran alat ukur acuan, yaitu meteran. Pengambilan data dilakukan berulang pada beberapa titik jarak, lalu selisih antara kedua hasil tersebut dirata-ratakan menggunakan Mean Absolute Error (MAE) seperti pada persamaan berikut.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - x_{acuan}| \quad (4.1)$$

Dengan:

MAE = rata-rata selisih mutlak antara sensor dan alat ukur acuan (cm)

n = banyaknya data pengukuran

x_i = hasil pembacaan sensor pada pengukuran ke-*i* (cm)

x_{acuan} = nilai hasil pengukuran alat ukur acuan (cm)

Nilai MAE tersebut masih berupa satuan panjang, sehingga belum menggambarkan seberapa besar penyimpangannya jika dibandingkan dengan nilai acuannya. Karena itu MAE diubah dulu menjadi persentase kesalahan dengan persamaan berikut.

$$\%error = \frac{MAE}{x_{acuan}} \times 100\% \quad (4.2)$$

Dari persentase kesalahan tadi, tingkat akurasi sistem bisa langsung diperoleh dengan cara mengurangkannya dari 100%.

$$Akurasi = 100\% - \%error \quad (4.3)$$

Semakin kecil nilai persentase kesalahan, semakin tinggi akurasi yang dihasilkan sistem. Namun akurasi saja belum cukup, sebab sensor bisa saja menghasilkan rata-rata yang bagus tetapi pembacaannya naik-turun setiap kali diukur. Untuk melihat kestabilan pembacaan, dihitung standar deviasi dari sekumpulan data yang diambil pada jarak yang sama, seperti pada persamaan berikut.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4.4)$$

Dengan:

- s = standar deviasi hasil pengukuran (cm)
- x_i = hasil pembacaan sensor pada pengukuran ke-i (cm)
- $\bar{x}$ = nilai rata-rata seluruh pembacaan sensor (cm)
- n = banyaknya data pengukuran

Nilai s yang kecil menandakan pembacaan sensor konsisten dan tidak banyak berubah pada kondisi pengukuran yang sama, sedangkan nilai s yang besar menunjukkan pembacaan masih berfluktuasi sehingga perlu penyaringan data atau penyesuaian pada posisi pemasangan sensor. Gabungan antara nilai akurasi dan standar deviasi inilah yang dipakai sebagai dasar penilaian apakah sensor sudah layak digunakan pada sistem monitoring tong sampah ini.

Faktor-faktor yang memengaruhi kinerja sensor ultrasonik antara lain suhu udara, kelembapan, tekanan, sudut pantulan, serta bentuk dan tekstur permukaan sampah. Perubahan suhu dapat memengaruhi kecepatan rambat suara sehingga berdampak pada akurasi pengukuran jarak. Oleh karena itu, kompensasi suhu atau kalibrasi berkala diperlukan untuk meningkatkan akurasi sistem. Studi yang dipublikasikan dalam jurnal Electronics (MDPI) juga menjelaskan bahwa faktor lingkungan seperti suhu dan kelembapan berpengaruh terhadap performa sensor ultrasonik serta menyarankan metode kompensasi untuk meningkatkan keandalan sistem Rudyk et al., (2025). Selain itu, pemasangan sensor secara tegak lurus terhadap permukaan objek serta penggunaan metode penyaringan data (misalnya *moving average* atau median filter) dapat membantu meminimalkan kesalahan pembacaan akibat permukaan yang tidak rata atau pantulan yang lemah.



Gambar 2. 5 Sensor ultrasonik⁵

Berdasarkan uraian tersebut, sensor ultrasonik merupakan pilihan yang tepat untuk sistem monitoring *level* material pada tong sampah karena memiliki keunggulan dalam aspek *non*-kontak, kemudahan integrasi, serta biaya implementasi yang relatif rendah, dengan tetap memperhatikan faktor lingkungan dan teknik kalibrasi untuk menjaga akurasi pengukuran.

2.2.8 *Water floating sensor*

Water floating sensor atau *float switch* merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan atau batas ketinggian cairan pada suatu wadah. Sensor ini bekerja menggunakan pelampung (*float*) yang bergerak mengikuti perubahan permukaan cairan. Ketika cairan mencapai ketinggian tertentu, posisi pelampung berubah dan mengaktifkan saklar di dalam sensor sehingga menghasilkan kondisi *ON* atau *OFF*. Kondisi tersebut kemudian dapat dibaca oleh mikrokontroler sebagai informasi mengenai tercapai atau tidaknya batas level cairan.

Penggunaan *float switch* pada sistem monitoring *level* telah diterapkan pada beberapa penelitian. Band dan Anyasi (2014) menggunakan *mercury float switch* sebagai elemen umpan balik untuk mendeteksi kondisi penuh dan kosong pada tangki air. Sementara itu, Singh et al. (2024) menggunakan sensor pelampung yang ditempatkan pada titik ketinggian tertentu untuk memberikan informasi kondisi *level* rendah dan *level* tinggi. Penggunaan sensor pelampung tersebut memungkinkan sistem memberikan respons berdasarkan perubahan ketinggian cairan yang telah ditentukan.

Water floating sensor memiliki konstruksi yang sederhana, mudah dipasang, dan tidak memerlukan rangkaian pengolahan sinyal yang kompleks. Sensor bekerja sebagai saklar mekanis sehingga dapat dihubungkan dengan mikrokontroler untuk membaca kondisi *level* cairan. Sensor ini sesuai digunakan untuk aplikasi pendeteksian level secara diskrit, yaitu untuk mengetahui apakah cairan telah mencapai batas tertentu atau belum.

⁵ *Sensor ultrasonik*. Retrieved August 21, 2026, from <https://share.google/pxezbQ3Rkc0rU7l0z>

Pada penerapannya, posisi pemasangan *water floating* sensor menentukan batas ketinggian cairan yang akan dideteksi. Ketika permukaan cairan naik hingga mencapai posisi sensor, pelampung akan bergerak dan mengubah kondisi saklar. Sebaliknya, ketika permukaan cairan turun melewati batas tersebut, posisi pelampung kembali berubah sehingga kondisi saklar kembali ke keadaan awal. Dengan demikian, perubahan kondisi keluaran sensor bergantung pada perubahan posisi pelampung akibat naik atau turunnya permukaan cairan.

Pada penelitian ini, *water floating* sensor digunakan untuk mendeteksi batas level lindi pada ruang penampungan lindi komposter. Sensor dipasang pada ketinggian tertentu sesuai dengan batas lindi yang telah ditentukan. Ketika lindi mencapai posisi sensor, perubahan kondisi keluaran sensor dibaca oleh Arduino Mega 2560 dan digunakan sebagai tanda bahwa lindi telah mencapai batas yang ditentukan. Status tersebut kemudian ditampilkan melalui TFT LCD sebagai informasi kondisi lindi.

Water floating sensor pada penelitian ini tidak digunakan untuk mengukur debit atau *volume* lindi secara kontinu, melainkan hanya digunakan sebagai sensor diskrit untuk mendeteksi kondisi batas *level* lindi. Oleh karena itu, parameter yang diamati pada penggunaan sensor adalah perubahan kondisi keluaran sensor dan ketinggian lindi ketika sensor mulai aktif.



Gambar 2. 6 *Water floating sensor*⁶

2.2.9 Produktivitas Sampah Organik Rumah Tangga dan Kesesuaian Kapasitas 60 Liter

Produktivitas sampah organik rumah tangga menjadi salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan komposter aerobik tertutup, terutama dalam menentukan kapasitas wadah yang digunakan. Jumlah sampah yang dihasilkan setiap hari akan memengaruhi ukuran komposter agar tidak cepat penuh dan tetap mampu mendukung proses

⁶ *Water floating sensor*. Retrieved August 23, 2026, from <https://share.google/ks2IQlpcNQhfq9h6E>

pengomposan dengan baik. Secara umum, sampah rumah tangga terdiri atas sampah organik dan anorganik, namun berbagai penelitian menunjukkan bahwa komposisinya masih didominasi oleh sampah organik, khususnya di negara berkembang seperti Indonesia, sehingga pengelolaan sampah organik di tingkat rumah tangga menjadi aspek yang cukup penting untuk diperhatikan.

A. Produktivitas Sampah Organik Rumah Tangga per Hari

Penelitian yang dilakukan oleh Yogautami et al., (2021) mengenai timbulan dan karakteristik sampah organik rumah tangga di Kelurahan Kali Balau Kencana, Kota Bandar Lampung, menunjukkan bahwa rata-rata sampah organik yang dihasilkan mencapai 0,10866 kg per orang per hari. Jenis sampah yang paling banyak ditemukan adalah sisa makanan dan limbah dapur dengan kadar air yang cukup tinggi. Kondisi ini membuat sampah organik mudah membusuk apabila tidak segera dikelola dengan baik.

Walaupun jumlahnya per orang tergolong kecil, akumulasi sampah organik tetap menjadi persoalan jika tidak ditangani secara rutin. Dengan karakteristik yang cenderung basah dan memiliki massa jenis mendekati 1 kg setara dengan 1 liter, volume sampah organik secara praktis dapat diperkirakan sekitar $\pm 0,1-0,2$ liter per orang per hari. Dalam skala rumah tangga, jumlah ini tentu akan terus bertambah seiring waktu.

Sejumlah penelitian di wilayah perkotaan lain di Indonesia juga menunjukkan bahwa lebih dari 50% timbulan sampah rumah tangga merupakan sampah organik. Data ini memperlihatkan bahwa pengelolaan sampah organik di tingkat rumah tangga memiliki peran yang cukup besar dalam mengurangi beban sampah ke TPA. Selain itu, kondisi tersebut juga membuka peluang untuk menerapkan sistem pengolahan dan pemantauan sampah berbasis teknologi sederhana yang lebih mudah diterapkan di lingkungan rumah.

B. Kesesuaian Kapasitas Tempat Sampah Kompos 60 Liter

Pemilihan kapasitas tempat sampah kompos perlu disesuaikan dengan jumlah anggota keluarga dan rata-rata produksi sampah organik harian. Pada rumah tangga dengan sekitar empat orang anggota, volume sampah organik yang dihasilkan setiap hari diperkirakan berkisar antara 1,2 hingga 2,8 liter. Jika dihitung dalam kurun waktu 3 sampai 7 hari, total akumulasi sampah organik berada pada kisaran 4 hingga 20 liter.

Angka tersebut menunjukkan bahwa kapasitas 60 liter masih jauh di atas kebutuhan volume sampah organik dalam beberapa hari. Artinya, wadah dengan kapasitas tersebut tidak akan cepat penuh dan masih memiliki ruang yang cukup untuk menampung

penambahan sampah berikutnya. Dengan kapasitas ini, frekuensi pengosongan wadah dapat dikurangi, sehingga pengelolaan sampah rumah tangga menjadi lebih praktis dan tidak merepotkan.

Selain itu, wadah kompos bukan sekadar tempat penampungan, tetapi juga menjadi media berlangsungnya proses penguraian. Selama proses pengomposan, volume sampah akan menyusut karena berkurangnya kadar air dan terjadinya perubahan struktur bahan organik. FAO (2015) menjelaskan bahwa dekomposisi menyebabkan penurunan volume secara bertahap, sehingga ruang di dalam wadah dapat dimanfaatkan kembali seiring berjalannya waktu.

C. Pertimbangan Operasional dan Praktis

Panduan teknis pengelolaan sampah dan kompos rumah tangga yang diterbitkan oleh FAO merekomendasikan penggunaan wadah kompos berkapasitas 30 hingga 100 liter untuk skala rumah tangga. Kapasitas tersebut dinilai cukup untuk menampung sampah organik harian yang jumlahnya tidak terlalu besar, sekaligus masih menyediakan ruang yang memadai agar proses pengomposan dapat berlangsung dengan baik. Dengan ruang yang cukup, sirkulasi udara dan proses penguraian bahan organik dapat berjalan lebih optimal.

Laporan World Bank (2018) juga menyebutkan bahwa pengelolaan sampah organik di tingkat rumah tangga sangat memungkinkan untuk diterapkan, terutama di negara berkembang, karena volume sampah yang dihasilkan per hari relatif kecil dan sebagian besar berupa sampah organik. Kondisi ini membuat penggunaan wadah berkapasitas sedang lebih sesuai, baik dari segi efisiensi maupun kemudahan penggunaan, dibandingkan wadah berukuran besar yang cenderung kurang praktis untuk skala rumah tangga.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini memilih kapasitas 60 liter sebagai ukuran yang cukup proporsional. Kapasitas ini dianggap mampu menampung kebutuhan volume sampah harian tanpa memerlukan ruang yang terlalu luas di area rumah. Selain itu, ukuran 60 liter juga mendukung penerapan sistem monitoring menggunakan sensor *level*, karena perubahan volume sampah dapat terdeteksi secara bertahap dan memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai tingkat kepenuhan wadah.

2.2.10 Real Time Clock (RTC)

Real Time Clock (RTC) merupakan modul yang berfungsi untuk menyimpan dan menghitung waktu secara *real-time*, meliputi jam, menit, tanggal, dan hari. Modul RTC

dilengkapi dengan sumber daya mandiri berupa baterai sehingga mampu mempertahankan informasi waktu meskipun sistem utama dalam keadaan mati.



Gambar 2. 7 RTC⁷

Pada sistem smart trash, RTC digunakan untuk mencatat dan menampilkan waktu penggunaan tempat sampah kompos. Informasi waktu ini penting dalam mendukung evaluasi kondisi sistem, khususnya dalam menentukan durasi terjadinya kondisi tidak normal berdasarkan *set point*. Dengan adanya RTC, sistem dapat membedakan antara gangguan sesaat dan kondisi yang berlangsung terlalu lama.

2.2.11 Switch

Switch atau sakelar adalah komponen masukan sederhana yang berfungsi menyambung atau memutus aliran sinyal listrik menuju sistem. Ketika ditekan atau diubah posisinya, switch mengirimkan sinyal logika ke mikrokontroler sebagai perintah untuk mengaktifkan atau menonaktifkan suatu fungsi.



Gambar 2. 8 switch⁸

Dalam sistem smart trash, *switch* digunakan sebagai tombol *ON/OFF* yang berperan dalam mengendalikan kondisi aktif atau tidaknya sistem secara keseluruhan. Melalui tombol

⁷ RTC. Retrieved August 23, 2026, from <https://share.google/4Am1nVvNkr4jyZl2O>

⁸ Switch. Retrieved August 23, 2026, from <https://share.google/PDdMxFwQanGPb4hER>

ini, pengguna dapat memulai proses kerja alat ketika diperlukan serta menghentikan operasionalnya setelah penggunaan selesai. Keberadaan tombol tersebut memberikan kemudahan dalam pengendalian dasar sistem, sehingga pengoperasian alat dapat dilakukan dengan lebih praktis dan terkontrol sesuai kebutuhan pengguna.

2.2.12 Konsep Set Point pada Sistem Kendali

Set point merupakan nilai acuan yang dipakai dalam sistem kendali sebagai batas untuk menentukan kapan sistem perlu memberikan respons. Pada komposter aerobik tertutup berbasis mikrokontroler, *set point* ditetapkan agar kondisi di dalam wadah tetap berada pada rentang yang mendukung proses pengomposan secara optimal.

Dalam penelitian ini, set point yang digunakan meliputi suhu 40 °C dan kelembapan 30% yang dibaca dari sensor DHT22, serta jadwal dan durasi pengadukan oleh agitator. Pengendalian suhu dan kelembapan tidak dilakukan dengan sekadar membandingkan nilai terhadap satu ambang, melainkan menggunakan logika *fuzzy* yang mengolah selisih (*error*) antara pembacaan sensor dan *set point*. Dengan cara ini, keluaran aktuator dapat berubah secara bertahap sesuai seberapa jauh kondisi menyimpang dari target, bukan sekadar menyala atau mati.

Ketika suhu dan/atau kelembapan berada di atas *set point*, logika *fuzzy* memperbesar keluaran *blower* dan pompa untuk memperlancar sirkulasi udara sekaligus menurunkan suhu dan kelembapan di dalam wadah. Sebaliknya, ketika suhu masih di bawah *set point*, keluaran heater dinaikkan dan diperkuat oleh bagian integral agar suhu lekas mendekati target. Adapun pengadukan dijalankan secara terjadwal, yaitu dua kali dalam sehari selama durasi yang ditentukan, dengan kecepatan putarnya dijaga pada nilai tertentu melalui kendali PI berbasis encoder.