

PEMANFAATAN PENGELOLAAN SAMPAH PADAT BERBASIS IOT UNTUK KEMANDIRIAN DESA

Zen Munawar¹, Herru Soerjono², Rita Komalasari³, Novianti Indah Putri⁴, Milla Marlina⁵, Mira Ismirani Fudsyi⁶

Manajemen Informatika, Politeknik LP3I^{1,3}
Administrasi Bisnis, Politeknik LP3I^{2,5}
Sistem Informasi, UKRI⁴,
Akuntansi, Politeknik LP3I⁶

Article history

Received : 17 Juni 2025

Revised : 18 Juni 2025

Accepted : 28 Juni 2025

*Corresponding author

Email : munawarzen@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan sebagai pengabdian pada masyarakat untuk memanfaatkan teknologi untuk kemandirian desa dengan pemanfaatan pengelolaan sampah padat berbasis IoT. Metode pelaksanaan adalah edukasi-persuasif merupakan pendekatan yang dilakukan kepada masyarakat. Pemanfaatan pengelolaan sampah padat berbasis IoT dapat meningkatkan kemandirian desa dengan cara yang lebih efisien, akurat, transparan, dan berkelanjutan. Melalui penggunaan sensor di tempat sampah, sistem pengelolaan sampah berbasis IoT dapat memantau tingkat pengisian, mengoptimalkan rute pengumpulan, dan mengurangi biaya operasional. Selain itu, sistem ini juga memungkinkan partisipasi masyarakat dalam pemantauan dan pelaporan kondisi sampah, sehingga tercipta lingkungan desa yang lebih bersih dan sehat. Dengan mempertimbangkan persyaratan IoT, analisis tinjauan model pengelolaan sampah yang tersedia untuk kemandirian desa. Tinjauan mendalam dilakukan terhadap literatur terkait berdasarkan infrastruktur IoT untuk penanganan sampah yang dihasilkan secara efisien, dengan fokus pada interaksi antara pemegang konsesi dan masyarakat yang menghasilkan sampah dari perspektif waktu pengumpulan yang lebih singkat dengan biaya yang lebih rendah. Model berbasis IoT, dan analisis perbandingan solusi yang tersedia disajikan, dengan tujuan untuk menyoroti pendekatan yang paling relevan dan mengidentifikasi masalah pengelolaan sampah sebagai salah satu ciri kemandirian desa.

Kata Kunci: Internet of Things; pengelolaan; sampah padat, desa

ABSTRACT

This research aims to serve the community to utilize technology for village independence by utilizing IoT-based solid waste management. The implementation method is education-persuasive is an approach taken to the community. Utilization of IoT-based solid waste management can increase village independence in a more efficient, accurate, transparent, and sustainable way. Through the use of sensors in trash bins, IoT-based waste management systems can monitor filling levels, optimize collection routes, and reduce operational costs. In addition, this system also allows community participation in monitoring and reporting waste conditions, thereby creating a cleaner and healthier village environment. By considering IoT requirements, an analysis of the available waste management model review for village independence. An in-depth review was conducted of related literature based on IoT infrastructure for efficient handling of waste generated, focusing on the interaction between concessionaires and communities that generate waste from the perspective of shorter collection times at lower costs. IoT-based models, and a comparative analysis of available solutions are presented, with the aim of highlighting the most relevant approaches and identifying waste management problems as one of the characteristics of village independence.

Keywords: Internet of Things; management; solid waste, village

PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah adalah istilah yang diberikan untuk sistem pengumpulan sampah, termasuk pengangkutan, pembuangan, atau daur ulangnya. Istilah ini dikaitkan dengan bahan sampah yang dihasilkan melalui aktivitas manusia yang harus ditangani untuk menghindari dampak buruknya bagi kesehatan dan lingkungan. Paling sering, sampah dikelola untuk menggunakan kembali sumber daya yang tersedia. Metode pengelolaan sampah mungkin berbeda antara wilayah dengan wilayah yang lainnya, antara lingkungan perkotaan dan pedesaan, atau antara kawasan industri dan pemukiman. Pengelolaan sampah di wilayah perkotaan dan pedesaan merupakan tanggung jawab umum kota dan kabupaten, sedangkan sampah yang dihasilkan oleh industri menjadi tanggung jawab mereka dan dikelola sendiri. Menurut data yang dirilis oleh Departemen Urusan Ekonomi dan Sosial Perserikatan Bangsa-Bangsa, pangsa populasi perkotaan di seluruh dunia diperkirakan akan mencapai 66% pada tahun 2050, dibandingkan dengan 52% pada tahun 2014, yang mengakibatkan peningkatan produksi sampah di kota-kota. Data yang dirilis oleh Grup Bank Dunia mengonfirmasi bahwa tingkat produksi sampah terus meningkat. Pada tahun 2012, kota-kota di seluruh dunia menghasilkan sekitar 1,3 miliar ton sampah padat, yang mewakili 1,2 kilogram sampah yang dihasilkan per orang per hari. Dengan pertumbuhan populasi yang pesat seiring dengan urbanisasi, produksi sampah perkotaan diproyeksikan akan meningkat hingga 2,2 miliar ton pada tahun 2025, yang menegaskan bahwa sampah kota (MSW), produk sampingan utama dari gaya hidup perkotaan, tumbuh lebih cepat daripada laju urbanisasi.

Peningkatan produksi sampah dan industri ini, bersama dengan peraturan yang lebih ketat yang bertujuan untuk mengakhiri pembuangan sampah ilegal, merangsang pertumbuhan aplikasi untuk pengelolaan sampah yang lebih baik. Faktor lain yang mendorong pertumbuhan aplikasi yang dirancang untuk pengelolaan sampah yang efektif di seluruh dunia secara langsung terkait dengan penggunaan teknik daur ulang yang konstan, siklus inovasi teknologi, penerapan teknik canggih untuk pengumpulan sampah, dan penggunaan teknologi berbasis IoT dan big data. Ada juga visi untuk memperkuat pengelolaan sampah berdasarkan inisiatif publik yang bertujuan untuk membangun lingkungan yang lebih benar dan lebih aman, serta mengurangi emisi gas rumah kaca. Menurut Allied Market Research, Portland, Oregon, pengelolaan sampah di seluruh dunia diperkirakan akan tumbuh pada tingkat tahunan sebesar 6,2% pada tahun 2023, dengan pertumbuhan yang lebih besar di kawasan Asia Pasifik yang sedang berkembang (Research, 2023). Di Eropa, sektor ini tumbuh lebih dari 30% pada tahun 2016 dan pertumbuhannya diperkirakan akan terus meningkat karena adanya infrastruktur canggih dan tingginya permintaan dari beberapa sektor yang berkepentingan.

Saat ini, ada peningkatan inisiatif oleh pemerintah dan otoritas publik terkait pengelolaan sampah untuk meningkatkan pengumpulan dan pembuangan sampah yang dihasilkan oleh kota secara cerdas. Inisiatif ini sudah mempertimbangkan percepatan laju urbanisasi di seluruh dunia dan perluasan sektor industri, serta industri manufaktur dan perawatan kesehatan yang kemungkinan menghasilkan sejumlah besar sampah dan sudah dapat diolah secara efisien dengan manajemen cerdas. Selain itu, pertumbuhan fasilitas infrastruktur dan meningkatnya adopsi sistem pengelolaan sampah canggih di negara-negara berkembang dengan tujuan menggunakan metode pembuangan sampah yang hemat biaya dan tepat waktu akan berdampak positif pada pertumbuhan manajemen sampah yang cerdas. Perkembangan teknologi yang telah menghasilkan inovasi di sektor pengelolaan sampah tidak diragukan lagi adalah kemajuan Internet (Laureti, Costantiello, Anobile, Leogrande, & Magazzino, 2024). Internet telah merevolusi dunia dan menawarkan konektivitas global. Demikian pula, Internet of Things (IoT) juga ditetapkan untuk mendukung perubahan signifikan dan mewakili evolusi Internet yang dikenal sebagai generasi Internet berikutnya yaitu, revolusi industri keempat (Weber, Lučić, & Lovrek, 2017). IoT dimulai dengan meningkatnya jumlah objek fisik yang saling terhubung yang menyediakan interaksi. Paradigma IoT memiliki peran utama sebagai

fasilitator utama integrasi berbagai solusi aplikasi dan teknologi komunikasi, seperti identifikasi dan pelacakan, jaringan sensor, aktuator kabel dan nirkabel, protokol komunikasi yang ditingkatkan, dan kecerdasan terdistribusi untuk objek (Rejeb, Rejeb, Simske, Treiblmaier, & Zailani, 2022). Menurut Internet Business Solutions Group (IBSG), tonggak sejarah kemunculan IoT terjadi ketika populasi Bumi dilampaui oleh jumlah objek yang terhubung ke Internet, yang terjadi pada tahun 2008–2009. IBSG memperkirakan bahwa pada tahun 2020, sekitar 50 miliar perangkat akan terhubung ke Internet (Campos, Cugno, Hirakawa, & Martini, 2016; Evans, 2011; Tervonen, Mikhaylov, Pieskä, Jämsä, & Heikkilä, 2014). IoT dapat mencakup sejumlah besar aplikasi yang dirancang untuk membantu di banyak sektor, seperti industri, transportasi, pasar, pendidikan, pertanian, perawatan kesehatan, lingkungan, dan kota pintar (Pellicer et al., 2013; Sumi & Ranga, 2016).

Kemandirian Desa adalah hal penting dalam pembangunan masyarakat desa menjadi lebih berdaya guna. Adanya Undang-undang No 6 Tahun 2014 tentang desa memberikan angin segar kepada desa karena kebijakan tersebut akan menjadikan desa mendapatkan hak dan kedaulatan desa secara utuh. Dalam Undang-Undang Desa menghargai keberagaman desa yang tertuang dalam pasal 4 mengenai tujuan pengaturan desa (RI, 2014). Beberapa manfaat pengelolaan sampah berbasis IoT untuk kemandirian desa. Efisiensi: IoT dapat membantu mengoptimalkan rute pengumpulan sampah, mengurangi biaya operasional, dan meningkatkan produktivitas petugas kebersihan. Akurasi: Data yang diperoleh dari sensor IoT lebih akurat dan real-time dibandingkan dengan pengumpulan data manual, sehingga pengambilan keputusan terkait pengelolaan sampah menjadi lebih tepat. Transparansi: Masyarakat dapat memantau langsung kondisi tempat sampah dan proses pengelolaan sampah melalui aplikasi atau platform online, sehingga meningkatkan transparansi dan akuntabilitas. Berkelanjutan: Pengelolaan sampah berbasis IoT dapat membantu mewujudkan pengelolaan sampah yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, serta mengurangi dampak negatif sampah terhadap lingkungan. Pemberdayaan Masyarakat: Sistem IoT dapat melibatkan masyarakat dalam pemantauan dan pelaporan kondisi sampah, sehingga meningkatkan kesadaran dan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan sampah. Dengan memanfaatkan teknologi IoT, desa-desa dapat mengelola sampah secara lebih efektif dan efisien, menciptakan lingkungan yang lebih bersih dan sehat, serta meningkatkan kemandirian desa dalam pengelolaan sampah.

METODE PELAKSANAAN

Metode pelaksanaan kegiatan pelatihan pemanfaatan pengelolaan sampah padat dalam rangka kemandirian desa yang berguna untuk memudahkan masyarakat desa untuk membuang sampah khusus sampah padat. Kegiatan ini dilakukan dalam bentuk pemaparan beberapa materi penggunaan transfer teknologi dari sebagian hasil penelitian dari penelitian-penelitian sebelumnya dalam bidang ilmu komputer dengan bidang teknologi informasi. Dalam penelitian ini metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif dan pengembangan agile. Salah satu metode pengumpulan data dilakukan dengan cara survei dan studi pustaka pada berbagai sumber, terutama jurnal yang berkaitan dengan aplikasi (Iswanto, Putri, Widhiantoro, Munawar, & Komalasari, 2022). Pelaksanaan pengabdian kepada masyarakat dilaksanakan dengan cara pelatihan dan pendekatan yang dilakukan kepada masyarakat. Adapun tindakan yang dilakukan berupa sosialisasi, pelatihan, serta pendampingan transfer pengetahuan dan teknologi. Metode edukasi-persuasif dilakukan dan masyarakat desa ikut berpartisipasi aktif. Pada Gambar 3 terlihat tahapan pelaksanaan pengabdian kepada masyarakat dibagi menjadi dua tahap, yaitu persiapan, pelaksanaan.

Tahap persiapan, tahap pertama kegiatan pengabdian kepada masyarakat dengan melakukan survei ke lokasi dan bertemu dengan mitra untuk pemilihan lokasi tempat pelatihan di dalam ruang maupun dengan praktik yang dilakukan melalui diskusi. Untuk mengidentifikasi kebutuhan serta kendala yang selama ini

dirasakan maka dibutuhkan transfer teknologi. Langkah selanjutnya adalah koordinasi Tim pelaksana pengabdian kepada masyarakat, dengan pembagian tugas dari berbagai disiplin ilmu yang ada pada tim, dalam rangka menyelesaikan permasalahan masyarakat yang kompleks. Penyelesaian masalah bersama mitra lebih terfokus pada satu permasalahan yang dihadapi dan belum maksimal yaitu, sampah padat dari rumah tangga, dedaunan di pekarangan, maupun biomassa lainnya. Berdasarkan hasil identifikasi tempat yang telah dipilih pada saat survey awal kegiatan, kemudian dimintakan izin kepada pemilik tempat untuk digunakan sebagai kegiatan pengabdian kepada masyarakat. Sosialisasi rencana kegiatan pengabdian kepada masyarakat kepada anggota kelompok PKK di desa dilakukan bersamaan dengan pertemuan rutin RW dan pertemuan rutin pengurus. Proses sosialisasi dilakukan dengan cara menyebarluaskan informasi tentang rencana program, penentuan jadwal kegiatan, dan strategi serta target kegiatan pengabdian kepada masyarakat.



Gambar 1. Tahapan Kegiatan
Sumber : (Hasil Penelitian, 2025)

Tahap Pelaksanaan, dilakukan dengan cara ceramah, tanya-jawab, dan demonstrasi yang merupakan tiga metode pendekatan yang digunakan selama pelatihan pengelolaan sampah. Metode ceramah dan tanya-jawab interaktif digunakan untuk pelaksanaan kegiatan pelatihan di ruangan. Selama pelatihan di dalam ruang juga disiapkan video tutorial pengelolaan sampah untuk memudahkan transfer teknologi. Pelaksanaan kegiatan offline dilakukan maksimal, kegiatan online dilakukan untuk meningkatkan keterampilan pengelolaan sampah dengan materi yang sudah disiapkan. Tahapan mentoring, evaluasi, dan keberlanjutan kegiatan pengabdian kepada masyarakat dilakukan setelah kegiatan pelatihan di ruangan dan praktik. Adapun pemantauan aktivitas agar berjalan berkelanjutan secara mandiri, dilakukan pendampingan secara online melalui group komunikasi, foto, maupun video call. Uji coba eksplorasi terhadap perangkat lunak dan sistem IoT untuk pengelolaan sampah padat telah dilakukan oleh penulis. Pendapat dan saran mengenai perbaikan permasalahan dan pengelolaan sampah padat di desa yang dialami kelompok masyarakat di desa sangat penting untuk diketahui oleh pengurus desa.

Pada rincian setiap tahapan kegiatan dijelaskan pada Gambar 1 dalam bentuk diagram. Di dalamnya terlihat urutan setiap sub proses kegiatan besar dijalankan. Berisi tentang konten Kegiatan pengabdian masyarakat dengan topik pemanfaatan pengelolaan sampah padat dengan aplikasi yang berbasis IoT dan dasar-dasar manajemen dalam rangka pengelolaan sampah.

PEMBAHASAN

Metode Deskriptif. Pada proses pengembangan sistem menggunakan metode deskriptif untuk mengetahui permasalahan terkini terkait penelitian yang diusulkan (Munawar, 2023). Jenis dan Metode Pembuangan Sampah. Sampah yang dihasilkan oleh berbagai lapisan masyarakat dapat diklasifikasikan menurut komposisi (ciri fisik) dan tujuannya. Klasifikasi ini penting karena memudahkan pengumpulan selektif, daur ulang, dan penentuan tujuan yang paling tepat. Sampah padat yang dibuang ini mewakili volume materi yang sangat heterogen, serta beban sampah industri dan rumah sakit yang lebih homogen (Sathish & Prabhakaran, 2011). Saat ini, pengumpulan selektif menjadi dasar pengelolaan sampah yang tepat dan metode utama yang diadopsi di seluruh dunia jika tujuannya adalah daur ulang. Untuk sistem pengelolaan sampah berbasis IoT, klasifikasi harus dilakukan terlebih dahulu, sehingga wadah khusus untuk setiap jenis sampah harus dipertimbangkan. Sebagai contoh, pengumpulan sampah padat di London dilakukan sesuai dengan persyaratan pengumpulan selektif. Pengumpulan sampah ini menggunakan kantong sampah atau wadah berwarna berbeda, seperti sampah beracun berwarna merah; sampah rumah sakit berwarna kuning; sampah rumah sakit setelah disinfeksi berwarna biru; sampah rumah tangga berwarna hitam; botol kaca dibagi menjadi kelompok hijau, hitam, cokelat, menurut jenis dan warnanya, dan ditempatkan dalam wadah yang berbeda (Mi, Liu, & Zhou, 2010). Kemudian, berbagai jenis sampah yang dimaksudkan akan dikelompokkan.

Sampah Organik. Ini adalah sampah yang berasal dari limbah organik (Kawai & Huong, 2017). Sampah ini terutama dihasilkan di tempat tinggal, restoran, dan tempat usaha komersial yang mengolah makanan. Sampah jenis ini harus dipisahkan dari jenis sampah lainnya karena sebagian besar berakhir di tempat pembuangan sampah. Sampah Daur Ulang. Ini adalah semua sampah yang dapat digunakan dalam proses transformasi menjadi elemen lain atau dalam pembuatan bahan baku (Seyring, Dollhofer, Weißenbacher, & Bakas, 2016). Sampah ini dihasilkan di tempat tinggal, perusahaan, dan industri, dan harus dipisahkan sehingga tim pengumpul selektif dapat mengumpulkan dan kemudian mengirimkannya ke pemrosesan akhir dan perusahaan daur ulang. Sampah atau limbah Industri. Ini adalah residu, terutama padat, yang berasal dari proses produksi di industri. Sampah jenis ini biasanya terdiri dari sisa bahan baku yang ditujukan untuk didaur ulang atau digunakan kembali dalam proses industri (Zobel, 2015). Sampah Rumah Sakit. Ini adalah sampah yang berasal dari rumah sakit dan klinik medis dan dapat menimbulkan kontaminasi dan menularkan penyakit kepada orang yang bersentuhan dengannya (Ali, Wang, & Chaudhry, 2017). Sampah jenis ini harus diolah sesuai dengan standar yang ditetapkan, dengan segala kehati-hatian yang memungkinkan. Jenis sampah ini ditujukan untuk perusahaan yang mengkhususkan diri dalam pengelolaan sampah tersebut, yang biasanya dibakar. Sampah Komersial. Sampah jenis ini dihasilkan oleh perusahaan komersial, seperti toko pakaian, mainan, dan peralatan. Sampah jenis ini hampir seluruhnya untuk didaur ulang (Bacot, McCoy, & Galvin, 2002). Sampah Hijau. Sampah jenis ini merupakan material yang dihasilkan, terutama, dari pemangkasan pohon, cabang, batang, kulit kayu, dan daun yang jatuh di jalan. Karena merupakan bahan organik, sampah jenis ini dapat digunakan untuk pengomposan dan produksi pupuk organik (Krzywoszynska, 2012). Sampah Elektronik. Sampah jenis ini dihasilkan dari pembuangan produk elektronik konsumen yang tidak lagi berfungsi atau sudah usang (Babu, Parande, & Basha, 2007). Untuk pembuangan, ada tempat yang tepat, seperti perusahaan yang bergerak di bidang daur ulang. Mereka mengirim sampah ini dengan cara yang tidak menyebabkan kerusakan lingkungan. sampah Nuklir. Sampah ini dihasilkan, terutama, oleh pembangkit listrik tenaga nuklir. Sampah jenis ini sangat berbahaya karena merupakan unsur radioaktif dan harus diolah sesuai dengan standar keselamatan yang ketat (Ganluxi & Yang, 2017).

Pengelolaan Sampah Padat

Berbagai aspek teknologi IoT untuk solusi pengelolaan sampah melalui solusi yang, dengan sistem pemantauan cerdas, memungkinkan perencanaan pengumpulan sampah (Catania & Ventura, 2014). Melalui platform Smart-M3 (perpanjangan pencarian lintas domain untuk informasi berbasis tiga), dimungkinkan untuk mengoperasikan aplikasi dari berbagai domain informasi dan komunikasi, dan menghadirkan kemudahan implementasi yang luar biasa. Solusinya dikembangkan dalam dua fase: yang pertama adalah fase pemantauan di mana tingkat sampah di dalam kompartemen diukur, dikirim, dan disimpan secara konstan; yang kedua adalah fase di mana kalkulasi informasi yang dikumpulkan diterapkan untuk mengoptimalkan rute pengumpulan sampah. Model pengelolaan sampah dinamis melalui serangkaian layanan infrastruktur di desa berdasarkan IoT. Dengan penggunaan sensor, frekuensi radio (RFID) dan aktuator dalam proses identifikasi pemantauan, rangkaian ini dibagi menjadi tiga fase yaitu fase pertama perencanaan dan pelaksanaan pengumpulan sampah menggunakan solusi perutean dalam truk dengan adaptasi rute yang dinamis sesuai dengan batasan yang diperkenalkan, fase kedua pengangkutan ke tempat tertentu sesuai dengan jenis sampah dan fase ketiga daur ulang sampah yang dapat digunakan kembali. Namun, pada dasarnya digunakan pada yang pertama yang berhubungan dengan perencanaan dan pengumpulan sampah. Istilah dinamis menunjukkan kapasitas sistem untuk beradaptasi secara waktu nyata terhadap parameter dan rencana yang menarik bagi pengumpulan residu selama aktivitas. Hasil ini memberikan pandangan makro dari infrastruktur pengelolaan sampah dengan penekanan pada proses yang diterapkan pada pengelolaan sampah yang unggul tanpa memasukkan manfaat sensor yang diterapkan untuk pemantauan dan metode komunikasi yang digunakan.

Solusi yang diidentifikasi sebagai pengelolaan sampah cerdas berbasis cloud (Cloud SWAM). Ini membahas solusi dengan wadah khusus untuk setiap jenis sampah (organik, plastik, botol, dan logam) yang dilengkapi dengan sensor yang terus-menerus memantau dan memperbarui statusnya ke cloud, tempat para pemangku kepentingan terhubung untuk menerima informasi yang relevan dengan minat mereka. Sistem ini bertindak tidak hanya dalam pengelolaan sampah tetapi juga dalam keputusan rute pengumpulan terbaik, menelusuri jalur yang lebih ekonomis di dalam wilayah. Selain itu model manajemen baru yang secara khusus berfokus pada penemuan area yang lebih baik untuk pembangunan tempat pembuangan akhir. Karena tempat pembuangan akhir digunakan sebagai tujuan akhir sampah komersial dan industri perumahan, mengidentifikasi lokasi yang tepat di dalam area perkotaan yang besar memerlukan perhatian khusus, karena harus ada perhatian tentang ekonomi, lingkungan, dan kesehatan masyarakat. Solusinya menggunakan informasi yang dikumpulkan oleh sistem pengelolaan sampah yang dikaitkan dengan bahasa yang menggunakan algoritma genetika yang membantu dalam pemilihan lahan yang sesuai untuk pembangunan tempat pembuangan akhir. Berbagai metode pembuangan sampah di mana pengelolaan sampah dapat diterapkan. Solusi terintegrasi sensor tingkat pengisian dengan pemadatan sampah bertenaga surya yang disebut kotak pintar, yang mengoptimalkan pengumpulan sampah. Informasi tersebut ditransfer ke server di cloud melalui komunikasi nirkabel dan berlaku untuk semua jenis dan ukuran kontainer, dan pemangku kepentingan dapat masuk ke server dan mengakses data secara waktu nyata melalui pemantauan kotak pintar. Dalam solusi ini, menyajikan pendekatan yang lebih terarah kepada para pemegang konsesi, dengan mempertimbangkan pengurangan biaya pengumpulan, penyediaan informasi tentang sampah, dan biaya transportasi yang lebih rendah untuk pembuangan di tempat pembuangan akhir terhadap masalah nyata yang dihadapi oleh perusahaan-perusahaan besar.

Pengelolaan sampah cerdas sebagai model untuk peningkatan pengumpulan sampah. Di beberapa negara, seperti Australia, kota biasanya mengenakan biaya untuk sampah yang dihasilkan di kota dan umumnya mengukur berat sampah untuk setiap lingkungan atau jalan dan kemudian menilai rata-rata setiap pengguna per rumah tangga (Chowdhury & Chowdhury, 2007). Model pengumpulan ini bukanlah yang

paling akurat, dan karena biaya pembuangan sampah meningkat setiap tahun, penghasil sampah pengguna sistem menuntut solusi yang mengurangi biaya dan mengubah bentuk penagihan, yang diterapkan melalui tarif tetap. Pengelolaan sampah cerdas dapat mengatasi masalah ini dengan memastikan bahwa pengguna hanya dikenai pajak berdasarkan sampah yang dihasilkan. Selain itu, sistem dapat mengurangi biaya dengan sejumlah besar kontainer yang hilang atau dicuri. Hal ini membahas proposal yang baik ketika kurangnya pengumpulan sampah hanya memengaruhi anggaran warga, tetapi arsitektur yang digunakan tidak digambarkan dengan baik.

Ide pengoptimalan pengumpulan sampah dan rute kendaraan, diajukan masalah perutean multiterbatas dan multikompartemen yang, melalui pemodelan menggunakan strategi penjadwalan kontainer dalam proses pengambilan keputusan, menghasilkan hasil yang menunjukkan bahwa pengumpulan yang dibedakan memiliki potensi untuk mencari strategi perutean terbaik dengan biaya pengumpulan yang lebih rendah, yang memastikan bahwa kemajuan dalam strategi pengoptimalan dapat menghadirkan solusi yang cerdas dan ekologis (Chowdhury & Chowdhury, 2007). Sistem daur ulang sampah yang cerdas dilakukan dengan cara pemisahan awal sampah sebelum pembuangan diperlukan di mana gelas akan ditujukan pada wadah coklat, kertas dan kaleng aluminium dalam wadah biru, dan produk plastik dalam wadah oranye (Wahab, Kadir, Tomari, & Jabbar, 2014). Sistem secara otomatis mengevaluasi jenis dan jumlah sampah yang dibuang dan manfaat diberikan dalam bentuk poin yang dikreditkan ke kartu. Poin yang terkumpul dapat ditukar dengan suatu barang atau bahkan ditarik melalui jaringan perbankan, yang mensimulasikan mata uang virtual. Mengikuti garis dasar wadah khusus untuk prapemisahan sampah, di mana model pertama berfokus pada keuntungan yang diberikan oleh pengumpulan yang dibedakan dan kasus kedua berfokus pada tawaran hadiah bagi warga yang membuang sampah dengan benar, tetapi tidak merinci bagaimana sensor tidak terperangkap dalam larutan.

Solusi untuk masalah tempat pembuangan yang tidak dibersihkan tepat waktu dan mencapai luapan. Sistem ini menawarkan monitor yang memicu alarm dan memberi tahu orang yang berwenang bahwa wadah siap diisi, yang dikaitkan dengan sistem penyaringan melalui spektroskopi inframerah dekat (NIR) yang mengidentifikasi lima jenis resin plastik dan sisa sampah yang dapat terurai secara hayati ditujukan untuk produksi biogas (Thakker & Narayanamoorthi, 2015). Model untuk mengumpulkan informasi tentang penggunaan sampah dan membantu pembuang untuk mengidentifikasi dan memutuskan apakah area tertentu membutuhkan tempat pembuangan tambahan atau memindahkannya ke tempat lain yang membutuhkannya (Folianto, Low, & Yeow, 2015). Dari informasi sampah harian, operator pembersihan dapat merencanakan dengan lebih baik kapan mereka harus mengirim kontingen pembersihan mereka untuk mengosongkan kotak dan juga dapat mengatur rute untuk truk pembersihan mereka. Solusi tempat sampah pintar, di mana tempat sampah didistribusikan di jalan-jalan dengan ID unik (Ramya & Sasikumar, 2017). Terkadang, saat kontainer akan diisi, akan ada permintaan dalam basis data untuk menentukan siapa yang bertanggung jawab atas kompartemen itu dan pemberitahuan sistem global untuk komunikasi seluler (GSM) akan dikirim yang berisi ID dan lokasi kontainer. Model yang disajikan mencakup perspektif tempat pembuangan sampah cerdas, tetapi dalam semua model ini, komponen sensor tidak terlalu jelas, karena hanya model komunikasi yang dijelaskan.

Kelemahan sistem yang ada dibandingkan dengan metode yang diusulkan. Usulan tersebut didasarkan pada Arduino IDE dan mikrokontroler 8051 yang membaca data dari sensor inframerah yang digunakan untuk mengukur kedalaman sampah di dalam kontainer, memproses dan mengirimkan melalui komunikasi nirkabel ke sistem pusat berdasarkan mikrokontroler Intel Galileo. Usulan yang disajikan mendekati sensor yang digunakan dalam solusi dengan sangat baik dan juga komunikasi yang digunakan. Model lain berdasarkan rute pengumpulan yang lebih baik (Rao et al., 2020). Pengelolaan sampah cerdas dan

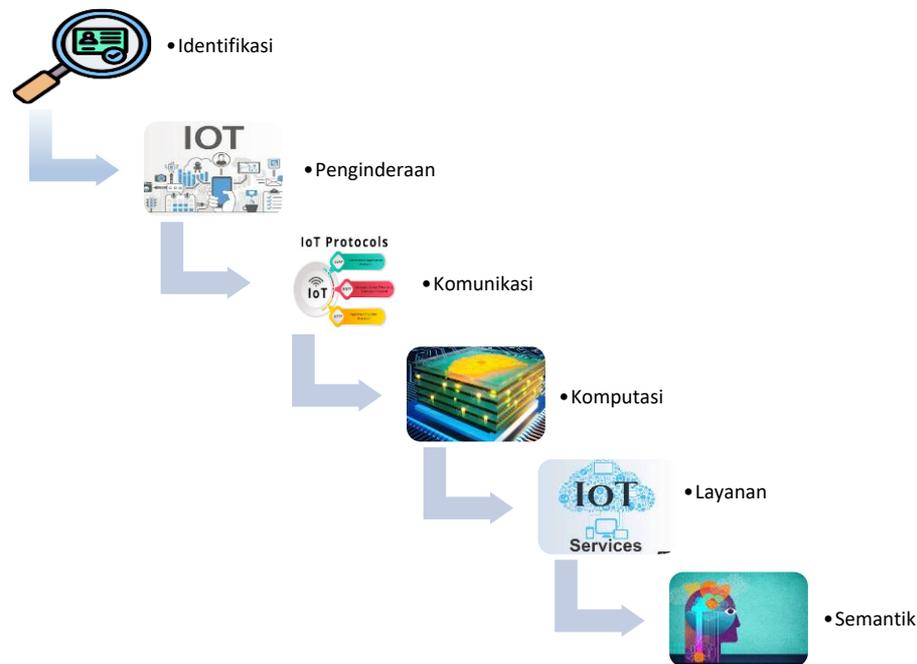
perbandingan berbagai metodologi berfokus pada IoT, dengan mempertimbangkan elemen-elemennya (identifikasi, penginderaan, komunikasi, komputasi, semantik, dan layanan) dan karakteristiknya apa pun yang berkomunikasi, apa pun yang mengidentifikasi, dan apa pun yang berinteraksi (Shyam, Manvi, & Bharti, 2017). Algoritma untuk pengambilan keputusan selama pengumpulan sampah (Manqele, Adeogun, Dlodlo, & Coetzee, 2017). Beberapa model algoritma dibandingkan, dengan mempertimbangkan beberapa metrik kinerja, seperti menerima data dalam gerakan, multiobjektif, atau masih mampu mengatasi peningkatan penerimaan data, tetapi tidak satu pun dari mereka dapat mengatasi kehilangan data. Berdasarkan informasi ini, beberapa studi kasus diusulkan dan beberapa tujuan, seperti mengurangi polusi melalui pengumpulan tepat waktu, mengurangi biaya operasional, menggunakan truk dengan ukuran yang sesuai untuk permintaan, dan menggunakan rute pengumpulan yang lebih baik, dipertimbangkan. Algoritma juga harus memperhitungkan kecepatan dan volume input data serta data yang dihasilkan oleh sensor serupa. Model algoritma untuk mengoptimalkan keputusan pengumpulan sampah (Omara, Gulen, Kantarci, & Oktug, 2018). Selain itu model ini menggunakan informasi yang diterima dari kompartemen untuk menentukan rute yang efektif untuk setiap truk selama pengumpulan. Dalam model tersebut, beberapa kendala dianggap sebagai kapasitas tempat sampah maksimum dan model distribusi Poisson memodelkan tingkat kedatangan sampah. Ketika tempat pembuangan mencapai ambang batas pengisian, alarm pengumpulan sampah dipicu dan dikirim ke stasiun pangkalan yang, pada gilirannya, berkomunikasi dengan cloud untuk memproses data dan menemukan rute pengumpulan terbaik. Pada akhirnya, truk-truk tersebut menuju ke area pengosongan tempat jumlah tempat pembuangan sampah yang dikunjungi diverifikasi dan menetapkan jalur pengumpulan yang optimal dengan tujuan pengoptimalan berdasarkan biaya yang lebih rendah untuk pengumpulan sampah. Solusi tersebut menyajikan pendekatan pengelolaan sampah berdasarkan tiga heuristik, dengan mempertimbangkan kendaraan terdekat terlebih dahulu, pengumpulan berdasarkan batas atas, dan pengumpulan berdasarkan ambang batas atas dan bawah.

Manfaat Model Arsitektur IoT yang Tersedia untuk Sistem Pengelolaan Sampah

Untuk menstandarisasi segmen atau vertikal IoT ini, sangat penting untuk didukung oleh model arsitektur referensi, sehingga di masa mendatang, perangkat pengelolaan sampah ini, yang disebut objek dalam IoT, dapat dihubungkan dan tantangan interoperabilitas terpecahkan. Internet didukung oleh arsitektur Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP) sehingga komunikasi antara host jaringan dimungkinkan seperti yang dikenal saat ini. Demikian pula, arsitektur untuk aplikasi berbasis IoT juga diperlukan, yang selalu membahas faktor-faktor seperti skalabilitas, interoperabilitas, keandalan, Quality of Service (QoS). Beberapa model dan arsitektur referensi yang tersedia untuk IoT. Setiap kelompok atau perusahaan menggambarkannya sendiri, yang sering kali menyebabkan konflik ide dan membuat tugas standarisasi menjadi lebih kompleks. Di antara model referensi yang dominan, ada beberapa inisiatif, seperti RAMI 4.0, arsitektur referensi untuk pabrik cerdas yang diterapkan pada standar IoT, yang dimulai di Jerman dan kemudian menjadi relevan melalui arahan perusahaan dari sektor industri besar (Jouhara, Czajczyńska, Ghazal, & Krzyżyńska, 2017). Inisiatif lain diluncurkan oleh konsorsium yang dibentuk oleh AT&T, Cisco, General Electric, International Business Machines Corporation (IBM) dan Intel, yang disebut Arsitektur Referensi Internet Industri (IIRA), dan menyediakan arsitektur referensi yang melibatkan diskusi dan pertimbangan yang luas, sementara Arsitektur Internet of Things (IoT-A) adalah inisiatif yang merangsang model arsitektur yang mencakup persyaratan sistem terperinci (Weyrich & Ebert, 2016).

Banyak model proyek berfokus pada arsitektur umum berdasarkan analisis kebutuhan atau pada beberapa lapisan yang membentuk model dasar arsitektur referensi. Arsitektur berlapis dasar, pendekatan paling dasar hanya mempertimbangkan arsitektur tiga lapis yang terdiri dari lapisan aplikasi, jaringan, dan persepsi. Model yang digunakan dengan menambahkan lebih banyak abstraksi ke arsitektur IoT, seperti

model Arsitektur Berorientasi Layanan (SOA), dan model middleware. Pada Gambar 2 mengilustrasikan rantai nilai ini untuk sistem pengelolaan sampah berbasis IoT.



Gambar 2. Rantai Nilai Untuk Sistem Pengelolaan Sampah Berbasis IoT

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2, rantai nilai yang untuk sistem pengelolaan sampah berbasis IoT mempertimbangkan aspek-aspek berikut yang dijelaskan sebagai berikut: Identifikasi. Bagi IoT, mengklasifikasikan layanan dan menghubungkannya dengan permintaan sangatlah penting, sehingga berbagai metode identifikasi didukung oleh IoT, seperti kode produk elektronik (EPC) dan kode di mana-mana (uCode), dan pelacak GPS, yang akan menentukan lokasi yang tepat. Kunci untuk mengidentifikasi objek tertentu dalam jaringan telekomunikasi adalah memberi ID dan alamat. ID mengacu pada nama objek, misalnya, "P1" untuk sensor tekanan tertentu dan alamatnya mengacu pada nomor yang mengidentifikasi perangkat tersebut dalam jaringan. Metode penyisipan objek dalam jaringan IoT dapat mencakup Protokol Internet versi 4 dan versi 6 (IPv4 dan IPv6). IPv6 pada jaringan pribadi berdaya rendah (6LoWPAN) menyediakan mekanisme kompresi melalui header. Sebagai metode untuk mengidentifikasi objek dalam jaringan, pengalokasian IP publik digunakan. Penginderaan. Penginderaan berarti menangkap data spesifik dan relevan dari objek pada jaringan dan mengirimkannya ke basis data atau cloud sehingga dapat dianalisis dan dijadikan dasar pengambilan keputusan dalam layanan tertentu. Sensor dapat diklasifikasikan sebagai perangkat cerdas, seperti aktuator [62], atau perangkat portabel yang sensitif. Banyak solusi IoT yang mengaitkan sensor dengan komputer papan tunggal (SBC) yang merupakan perangkat (misalnya, Arduino Yun, Raspberry PI, Beagle Bone Black) yang terhubung ke perangkat lunak aplikasi dalam manajemen pusat untuk menyediakan informasi yang dibutuhkan klien.

Komunikasi. Untuk mengintegrasikan objek yang berbeda dan menyediakan layanan tertentu dalam lingkungan IoT, perlu menerapkan teknologi komunikasi seperti Wi-Fi, Bluetooth, Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) 802.15.4, LoRa, wave Z, GSM/GPRS, broadband code division multiple access (WCDMA), long term evolution (LTE) dan Advanced LTE, near field communication (NFC), Ultra-wideband

(UWB) dan 6LoWPAN, dan node IoT harus beroperasi dengan konsumsi daya rendah. RFID adalah teknologi komunikasi khusus yang juga dapat dipertimbangkan di mana sinyal kueri dipancarkan dari pembaca RFID terhadap label yang disebut TAG yang memantul dan kembali ke pembaca. Ada berbagai jenis TAG; TAG aktif yang bertenaga baterai; TAG pasif yang beroperasi tanpa adanya baterai untuk catu daya; dan TAG semipasif yang, jika diperlukan, menggunakan pasokan papan [72]. Teknologi NFC beroperasi dalam pita frekuensi tinggi 13,56 MHz dengan kecepatan 424 kbps dalam pita jarak hingga 10 cm. UWB, juga dikenal sebagai 802.15.3, adalah teknologi komunikasi yang dirancang oleh IEEE untuk beroperasi dalam area dengan cakupan dan persyaratan lebar pita yang rendah. Wi-Fi menggunakan gelombang radio untuk komunikasi dalam jarak 100 m dan memungkinkan perangkat untuk berkomunikasi melalui konfigurasi ad hoc, yaitu, tanpa menggunakan router. Bluetooth adalah teknologi komunikasi yang banyak digunakan untuk komunikasi antar perangkat dalam jarak pendek. Ia menggunakan gelombang radio dasar dengan panjang gelombang pendek untuk menjamin penghematan dalam konsumsi baterai. 802.15.4, yang dikembangkan oleh IEEE, menyediakan spesifikasi dalam jaringan nirkabel daya rendah untuk lapisan fisik dan lapisan kontrol akses menengah dengan mempromosikan komunikasi yang andal dan terukur. Long term evolution (LTE) adalah standar komunikasi nirkabel yang memungkinkan transfer data berkecepatan tinggi antara telepon seluler berdasarkan teknologi jaringan GSM/UMTS dan mencakup perangkat yang bergerak dengan kecepatan tinggi selain menyediakan layanan berbasis multicast dan siaran [66]. LTE Advanced (LTE-A) adalah versi LTE konvensional yang disempurnakan dan mencakup cakupan pita lebar, multiplexing spasial, cakupan yang lebih luas, dan kinerja yang lebih baik dengan latensi yang lebih rendah. Lebih dikenal sebagai komunikasi seluler generasi keempat merupakan evolusi dari WCDMA (3G) dan GSM/GPRS (2G).

Komputasi. Ini adalah unit yang mewakili kapasitas komputasi IoT, berdasarkan perangkat lunak dan aplikasi. Ada berbagai macam platform pengembangan perangkat keras untuk operasi aplikasi IoT; beberapa contohnya adalah: Arduino, UD00, FriendlyARM, Intel Galileo, Raspberry Pi, Gadgeteer, Beagle Bone, Cubieboard, Z1, WiSense, Mulle, dan T-Mote Sky, tetapi sistem operasi dipandang penting karena berjalan di seluruh periode eksekusi sistem. Selain TinyOS, LiteOS, dan RIoTOS, yang juga menawarkan sistem operasi ringan, kita dapat menyebutkan Contiki RTOS, yang banyak digunakan dalam skenario IoT untuk lingkungan IoT. Platform cloud adalah komponen komputasi penting lainnya dalam solusi IoT. Platform ini menyediakan kemampuan untuk menerima data dari objek cerdas untuk diproses atau disimpan, sehingga di masa mendatang, pengguna dapat memperoleh manfaat dari pengetahuan data yang diekstrak. Platform analisis data dalam IoT sangat penting karena karakteristik khusus dari jenis solusi ini yang memberikan data heterogen dan integrasi sistem. Demikian pula, pengelolaan sampah padat berbasis IoT bekerja dengan data waktu nyata yang memerlukan korelasi dan pembagian. Untuk memenuhi persyaratan ini dalam sistem dengan sejumlah besar perangkat yang terhubung yang menghasilkan data melalui berbagai aliran, semakin diperlukan untuk mengadopsi komputasi awan di mana kapasitas penyimpanan, pemrosesan, dan koneksi dibutuhkan sesuai dengan permintaan analisis data yang terus meningkat.

Layanan. Dalam IoT, layanan dapat diklasifikasikan melalui empat kelas: Layanan yang terkait dengan identitas yang merupakan layanan paling dasar dan penting bagi layanan lain—aplikasi yang perlu membawa objek dari dunia nyata ke dunia virtual harus mengidentifikasi objek tersebut terlebih dahulu; layanan agregasi informasi yang bertanggung jawab untuk meringkas informasi mentah yang perlu diproses dan diekspos ke aplikasi; layanan yang sadar kolaboratif yang bertindak atas layanan agregasi dalam pengambilan keputusan; dan layanan yang ada di mana-mana, yang menyediakan layanan dukungan. Semantik. Semantik mengacu pada kemampuan untuk mengekstrak pengetahuan dengan cara yang cerdas, tetapi melalui kemungkinan lain dan dalam proporsi yang dibutuhkan layanan. Ekstraksi

pengetahuan ini mencakup penemuan dan penggunaan sumber daya pemodelan dan informasi serta mencakup pengenalan dan analisis data sehingga masuk akal untuk keputusan yang tepat dengan menyediakan layanan yang tepat. Semantik berperilaku seperti otak IoT, mengirimkan permintaan ke sumber daya tertentu. Persyaratan tersebut didukung oleh teknologi web semantik, seperti kerangka deskripsi sumber daya (RDF), OWL (bahasa ontologi web), dan EXI (pertukaran XML yang efisien).

Aspek Yang Dapat Membantu Sistem Pengelolaan Sampah Padat

Aspek penting lain yang harus dipertimbangkan dalam sistem pengelolaan sampah adalah konsumsi baterai yang dihasilkan oleh penggunaan perangkat/sensor yang tersedia dalam suatu solusi. Node IoT yang digunakan dalam pengelolaan sampah padat meliputi sensor ultrasonik dan sel beban, GPS, aktuator, mikrokontroler, dan modul transmisi. Ada juga aspek yang terkait dengan topologi jaringan yang digunakan dalam solusi, seperti topologi model titik-ke-titik, model bintang, model hierarkis. Bergantung pada model topologi yang digunakan, node dapat mengonsumsi lebih banyak atau lebih sedikit energi, seperti halnya jarak posisi node juga harus dipertimbangkan. Node yang lebih dekat ke radio dasar cenderung menghabiskan lebih sedikit energi daripada node yang terletak di pinggiran sel, mengingat bahwa modul transmisi bertanggung jawab atas konsumsi energi yang lebih tinggi. Teknologi komunikasi yang digunakan juga merupakan aspek yang perlu dipertimbangkan, jika memungkinkan, untuk menggunakan teknologi berdaya rendah, seperti 6LoWPAN, BLE, serta untuk mempertimbangkan aspek penginderaan, seperti apakah penginderaan akan terjadi secara berkala, terus-menerus, reaktif, atau dalam waktu nyata. Pengembangan simpul sensor untuk pemantauan waktu nyata tingkat pengisian tempat pembuangan sampah berdasarkan konsumsi energi rendah dan pengendalian biaya. Dipertahankan tidak hanya pada simpul sensor secara lebih efisien dalam hal tingkat energi tetapi juga pada arsitektur solusi, dengan mempertimbangkan mikrokontroler yang dapat menangani kapasitas komputasi dengan konsumsi energi rendah dan juga untuk menggunakan kebijakan yang mematikan simpul atau bahkan sebagian darinya saat tidak aktif.

Aspek lain yang sangat menguntungkan yang dapat membantu sistem pengelolaan sampah padat adalah menggunakan analisis data untuk menyediakan kapasitas untuk memperkirakan timbulnya sampah dari suatu kotamadya dalam jangka pendek. Berdasarkan data yang telah dikumpulkan dalam periode tertentu, analisis akan diterapkan, yang melaluinya perencanaan pengumpulan yang lebih efisien dimungkinkan dan bahkan sumber daya diperkirakan untuk kemungkinan pertumbuhan dalam pembangkitan sampah yang mengarah pada investasi yang lebih tinggi dalam infrastruktur. Melalui analisis ini, dimungkinkan untuk memilih hasil terbaik berdasarkan indeks kinerja yang diterapkan untuk setiap kriteria dan dengan demikian meningkatkan implementasi pengelolaan sampah padat. Selain itu serangkaian waktu jaringan saraf tiruan autoregresif digunakan untuk memprediksi pembangkitan residu bulanan karena karakteristik sampah padat yang dihasilkan berbeda di tempat yang berbeda.

Tantangan yang Dihadapi Untuk Tahap PKM berikutnya

Sistem pengelolaan sampah dapat diintegrasikan dengan studi pengelolaan parkir kendaraan di masa mendatang. Kontainer dapat diposisikan sebagai gerbang untuk sensor parkir, yang sudah memiliki sistem transmisi terintegrasi dan informasi disajikan kepada pengguna melalui aplikasi yang melacak rute dari posisi awal kendaraan ke tempat parkir yang tersedia. Dengan infrastruktur pengelolaan sampah terintegrasi, dimungkinkan untuk menambahkan aplikasi baru ke sistem dasar. Contoh yang baik adalah pengelolaan parkir menggunakan sensor keberadaan inframerah berdasarkan standar IEEE 802.15.4 dengan tempat pembuangan sampah cerdas, yang mengirimkan data ke middleware terintegrasi yang sama dan, kemudian, disediakan kepada pengguna melalui platform seluler. Hal lain yang mungkin menjadi fokus pekerjaan di masa mendatang adalah studi mendalam tentang siklus hidup baterai isi ulang yang

akan digunakan dalam sistem pengelolaan sampah. Karena baterai ini dipasang di kontainer yang sebagian besar waktu akan menjadi tindakan iklim yang menguntungkan, analisis fungsi sel dan interaksinya dengan lingkungan harus dipelajari, serta penanganan dan perlindungannya terhadap peningkatan suhu karena wabah. Dalam hal ini, penelitian tidak ditujukan pada aplikasi berbasis kota pintar, tetapi pengembangan baterai generasi baru dapat memberi manfaat bagi banyak aplikasi dan berkontribusi secara signifikan terhadap evolusi proyek dalam sains dan teknologi.

Implementasi

Platform pengelolaan sampah yang berfokus pada perspektif warga yang dapat berinteraksi dengan sistem melalui aplikasi seluler yang, melalui lokasinya, menemukan tempat sampah terdekat dengan tempat tinggal mereka dengan tingkat penggunaan masing-masing. Mengetahui informasi ini, pengguna dapat memilih untuk membuang sampah pada saat itu juga dalam wadah yang tersedia atau bahkan menahannya dan menunggu hingga sistem pengumpulan mengosongkan endapan. Dengan cara ini, pengguna akan berkontribusi pada wadah yang tidak meluap dan menghindari sampah mereka terekspos di tempat terbuka. Solusinya mencakup kompartemen fisik (tempat sampah) yang dilengkapi dengan sensor, yang melakukan penginderaan terus-menerus terhadap volume dan berat residu yang terkandung di dalamnya. Sensor dikelola oleh mikrokontroler lingkungan pengembangan terintegrasi (IDE) yang juga mengontrol komunikasi melalui modul yang digabungkan. Data dikirimkan ke middleware, tempat mereka disimpan dan disediakan untuk aplikasi seluler.

Sistem pengelolaan sampah dapat menjadi objek studi di masa mendatang untuk solusi jalur yang lebih pendek untuk rute pengumpulan, yaitu truk sudah berangkat dengan rute yang telah dilacak sebelumnya untuk mencari kontainer yang perlu dikosongkan. Dengan cara ini, efektivitas pengumpulan yang lebih baik dapat dicapai dalam waktu yang lebih singkat dan dengan konsumsi bahan bakar yang rendah. Ada banyak studi yang tersedia dalam literatur yang menyajikan berbagai solusi untuk jalur terpendek dalam rute pengumpulan. Platform pengelolaan sampah yang berfokus pada perspektif warga, seperti yang dijelaskan di atas, ditambah dengan penyelesaian jalur pengumpulan terbaik dapat membawa keuntungan besar masyarakat di desa.

Hasil Implementasi

Pelatihan pengelolaan sampah di desa dilakukan dengan pendekatan kontekstual (Munawar et al., 2024). Pendekatan ini diawali dengan orientasi lapangan yang dilanjutkan dengan identifikasi masalah, studi literatur, pembekalan awal terhadap tutor pembantu, pelaksanaan pelatihan, dan diakhiri dengan evaluasi keberhasilan kegiatan. Secara sistematis, alur kerja pemecahan masalah dalam kegiatan ini dapat digambarkan pada Kegiatan dilakukan dengan melakukan pelatihan dan pendampingan dalam pemahaman manfaat kecerdasan buatan bagi masyarakat desa. Pelatihan dilaksanakan di tempat yang dekat dengan lingkungan desa. Pelatihan dimulai dengan mengenalkan contoh aplikasi berbasis web yang beserta fitur-fitur yang ada di dalamnya. Setelah memahami fitur dan fungsinya, kegiatan dilanjutkan dengan cara menggunakan fitur tersebut. Kegiatan selanjutnya adalah menggunakan fitur-fitur yang ada. Untuk mengukur tingkat keberhasilan dari keseluruhan rangkaian kegiatan tersebut, dilakukan evaluasi pada rentang proses dan akhir kegiatan, yaitu pada saat akhir pelatihan. Kegiatan evaluasi ini melibatkan semua tim pengabdian. Kriteria dan indikator pencapaian tujuan dan tolak ukur yang digunakan untuk menjustifikasi tingkat keberhasilan kegiatan. Untuk mengukur pengetahuan peserta pelatihan tentang manfaat pengelolaan sampah di desa, digunakan teknik wawancara, dan untuk mengukur kemampuan dan keterampilan peserta tentang penggunaan fitur-fitur yang ada, digunakan format observasi. Peserta akan diminta untuk melakukan tugas-tugas di antaranya melihat tayangan aplikasi pengelolaan sampah di desa. Dengan memanfaatkan teknologi IoT, desa-desa dapat mengelola sampah secara lebih efektif dan efisien,

menciptakan lingkungan yang lebih bersih dan sehat, serta meningkatkan kemandirian desa dalam pengelolaan sampah.

KESIMPULAN

Untuk mencapai salah satu ciri kemandirian desa, yaitu pengelolaan sampah menjadi elemen penting dalam mencapai keberlanjutan, efisiensi dalam belanja publik, peningkatan mobilitas pedesaan, dan pelestarian sumber daya alam. Literatur telah digunakan untuk menyelidiki berbagai karakteristik dan aspek sistem pengelolaan sampah cerdas menggunakan Internet of Things. Karena penerapan infrastruktur IoT dapat memungkinkan banyak peluang, pertama-tama, motif pencarian utama diidentifikasi, dan beberapa model aplikasi yang berguna pada topik pengelolaan sampah dijelaskan. Pemanfaatan pengelolaan sampah padat berbasis IoT dapat meningkatkan kemandirian desa dengan cara yang lebih efisien, akurat, transparan, dan berkelanjutan. Melalui penggunaan sensor di tempat sampah, sistem pengelolaan sampah berbasis IoT dapat memantau tingkat pengisian, mengoptimalkan rute pengumpulan, dan mengurangi biaya operasional. Dengan menggunakan IoT, dimungkinkan untuk melacak lokasi tempat sampah, memantau tingkat sampah yang dibuang, mengidentifikasi lokasi dengan permintaan tertinggi, menyarankan rute terpendek untuk pengoptimalan pengumpulan sampah padat, atau bahkan berinteraksi dengan masyarakat atau warga untuk mendorong pembuangan pada saat tempat sampah dapat menerima sampah, yang menghindari masalah signifikan yang diakibatkan oleh penumpukan sampah di luar tempat pembuangan sampah.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M., Wang, W., & Chaudhry, N. (2017). Hospital waste management in developing countries: A mini review. *Waste Manag Res*, 35(6), 581–592. <https://doi.org/10.1177/0734242X17691344>
- Babu, B. R., Parande, A. K., & Basha, C. A. (2007). Electrical and electronic waste: a global environmental problem. *Waste Manag Res*, 25(4), 307–318. <https://doi.org/10.1177/0734242X07076941>
- Bacot, H., McCoy, B., & Galvin, J. P. (2002). Municipal Commercial Recycling: Barriers to Success. *The American Review of Public Administration*, 32(2), 145–165. <https://doi.org/10.1177/02774002032002002>
- Campos, L. B., Cugnasca, C. E., Hirakawa, A. R., & Martini, J. S. C. (2016). Towards an IoT-based system for Smart City. *2016 IEEE International Symposium on Consumer Electronics (ISCE)*, 129–130. <https://doi.org/10.1109/ISCE.2016.7797405>
- Catania, V., & Ventura, D. (2014). An approach for monitoring and smart planning of urban solid waste management using smart-M3 platform. *Proceedings of 15th Conference of Open Innovations Association FRUCT*, 24–31. <https://doi.org/10.1109/FRUCT.2014.6872422>
- Chowdhury, B., & Chowdhury, M. U. (2007). RFID-based real-time smart waste management system. *2007 Australasian Telecommunication Networks and Applications Conference*, 175–180. <https://doi.org/10.1109/ATNAC.2007.4665232>
- Evans, D. (2011). *The Internet of Things How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything*. Retrieved from http://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf
- Folianto, F., Low, Y. S., & Yeow, W. L. (2015). Smartbin: Smart Waste Management System. *2015 IEEE Tenth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP)*, 1–2. <https://doi.org/10.1109/ISSNIP.2015.7106974>
- Ganluxi, L. G., & Yang, S. (2017). Legal context of high level radioactive waste disposal in China and its further improvement. *Energy & Environment*, 28(4), 484–498. <https://doi.org/10.1177/0958305X17706178>

- Iswanto, Putri, N. I., Widhiantoro, D., Munawar, Z., & Komalasari, R. (2022). Pemanfaatan Metaverse Di Bidang Pendidikan. *Tematik: Jurnal Teknologi Informasi Komunikasi*, 9(1), 44–52. <https://doi.org/10.38204/tematik.v9i1.904>
- Jouhara, H., Czajczyńska, D., Ghazal, H., & Krzyżyńska, R. (2017). Municipal waste management systems for domestic use. *Proceedings of the ICE - Energy*, 485–506. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.162>
- Kawai, K., & Huong, L. T. M. (2017). Key parameters for behaviour related to source separation of household organic waste: A case study in Hanoi, Vietnam. *The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 35(3), 246–252. <https://doi.org/10.1177/0734242X16683441>
- Krzywoszynska, A. (2012). Waste? You Mean By-Products!' from Bio-Waste Management to Agro-Ecology in Italian Winemaking and beyond. *The Sociological Review*, 60(2), 47–65. <https://doi.org/10.1111/1467-954X.12037>
- Laureti, L., Costantiello, A., Anobile, F., Leogrande, A., & Magazzino, C. (2024). Waste Management and Innovation: Insights from Europe. *Recycling*, 9(5), 1–35. <https://doi.org/10.3390/recycling9050082>
- Manqele, L., Adeogun, R., Dlodlo, M. E., & Coetzee, L. (2017). Multi-objective decision-making framework for effective waste collection in smart cities. *Global Wireless Summit (GWS)*, 155–159. <https://doi.org/10.1109/GWS.2017.8300475>
- Mi, L., Liu, N., & Zhou, B. (2010). Disposal Methods for Municipal Solid Wastes and Its Development Trend. *2010 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICBBE.2010.5517879>
- Munawar, Z. (2023). *Sains Data: Strategi, Teknik, dan Model Analisis Data* (1st ed.). Bandung: Kaizen Media Publishing.
- Munawar, Z., Putri, N. I., Komalasari, R., Soerjono, H., Hernawati, & Haryaman, A. (2024). Pengembangan Sistem Manajemen Aktivitas Berbasis Web dan Mobile untuk Pemilik Rumah Di Desa. *Darma Abdi Karya*, 3(1), 11–21. <https://doi.org/10.38204/darmaabdikarya.v3i1.1956>
- Omara, A., Gulen, D., Kantarci, B., & Oktug, S. F. (2018). Trajectory-Assisted Municipal Agent Mobility: A Sensor-Driven Smart Waste Management System. *Journal of Sensor and Actuator Networks (JSAN)*, 7(3), 1–29. <https://doi.org/10.3390/jsan7030029>
- Pellicer, S., Santa, G., Bleda, A. L., Maestre, R., Jara, A. J., & Gomez, A. (2013). A Global Perspective of Smart Cities: A Survey. *2013 Seventh International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*, 439–444. <https://doi.org/10.1109/IMIS.2013.79>
- Ramya, E., & Sasikumar, R. (2017). A survey of smart environment conservation and protection for waste management. *2017 Third International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics (AEEICB)*, 242–245. <https://doi.org/10.1109/AEEICB.2017.7972421>
- Rao, P. V., Azeez, P. M. A., Peri, S. S., Kumar, V., Devi, R. S., & Rengarajan, A. (2020). IoT based Waste Management for Smart Cities. *2020 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)*, 1267–1274. <https://doi.org/10.1109/ICCCI48352.2020.9104069>
- Rejeb, A., Rejeb, K., Simske, S., Treiblmaier, H., & Zailani, S. (2022). The big picture on the internet of things and the smart city: a review of what we know and what we need to know. *Internet of Things*, 19, 100565. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100565>
- Research, A. M. (2023). *MICE Industry, by Type (Meeting, Incentive, Convention and Exhibition): Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2023-2032*. Retrieved from <https://www.alliedmarketresearch.com/MICE-industry-market>
- RI, P. (2014). *Desa*. Retrieved from file:///C:/Users/ZEN MUNAWAR/Downloads/UU Nomor 06 Tahun 2014.pdf
- Sathish, S., & Prabhakaran, M. (2011). Conventional solid waste management technique for eradication of

- solid waste and its impact assessment. *International Conference on Green Technology and Environmental Conservation (GTEC-2011)*, 159–161. <https://doi.org/10.1109/GTEC.2011.6167662>
- Seyring, N., Dollhofer, M., Weißenbacher, J., & Bakas, I. (2016). Assessment of collection schemes for packaging and other recyclable waste in European Union-28 Member States and capital cities. *Waste Management & Research*, 34(9), 947–956. <https://doi.org/10.1177/0734242X16650516>
- Shyam, G. K., Manvi, S. S., & Bharti, P. (2017). Smart waste management using Internet-of-Things (IoT). *2017 2nd International Conference on Computing and Communications Technologies (ICCCT)*, 60–64. <https://doi.org/10.1109/ICCCT2.2017.7972276>
- Sumi, L., & Ranga, V. (2016). Sensor enabled Internet of Things for smart cities. *2016 Fourth International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC)*, 295–300. <https://doi.org/10.1109/PDGC.2016.7913163>
- Tervonen, J., Mikhaylov, K., Pieskä, S., Jämsä, J., & Heikkilä, M. (2014). Cognitive Internet-of-Things solutions enabled by wireless sensor and actuator networks. *5th IEEE Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*, 97–102. <https://doi.org/10.1109/CogInfoCom.2014.7020426>
- Thakker, S., & Narayanamoorthi, R. (2015). Smart and Wireless Waste Management. *2015 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICIIECS.2015.7193141>
- Wahab, M. H. A., Kadir, A. A., Tomari, M. R., & Jabbar, M. H. (2014). Smart Recycle Bin: A Conceptual Approach of Smart Waste Management with Integrated Web Based System. *2014 International Conference on IT Convergence and Security (ICITCS)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICITCS.2014.7021812>
- Weber, M., Lučić, D., & Lovrek, I. (2017). Internet of Things context of the smart city. *2017 International Conference on Smart Systems and Technologies (SST)*, 187–193. <https://doi.org/10.1109/SST.2017.8188693>
- Weyrich, M., & Ebert, C. (2016). Reference Architectures for the Internet of Things. *IEEE Software*, 33(1), 112–116. <https://doi.org/10.1109/MS.2016.20>
- Zobel, T. (2015). ISO 14001 adoption and industrial waste generation: The case of Swedish manufacturing firms. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 33(2), 107–113. <https://doi.org/10.1177/0734242X14564643>