

Pengembangan Sistem Daur Ulang Sampah Organik Menjadi Energi Biogas Skala Rumah Tangga sebagai Solusi Inovatif Pengelolaan Limbah Perkotaan di Kota Gorontalo

Atrila Latinulu, La Ode Juni Akbar, Nini Kiyai Demak

Universitas Bina Taruna Gorontalo

atrilalatinulu07@gmail.com¹, junilaode23@gmail.com²,

niaaryani66@gmail.com³

ABSTRAK

Permasalahan sampah organik di perkotaan menjadi isu krusial yang memerlukan solusi inovatif dan berkelanjutan. Kota Gorontalo, seperti banyak kota lainnya, timbunan sampah organik mendominasi komposisi sampah, menimbulkan tantangan dalam hal pengelolaan, pembuangan, dan dampaknya terhadap lingkungan. Tingginya volume sampah organik tidak hanya membebani tempat pembuangan akhir (TPA), tetapi juga berpotensi menghasilkan emisi gas metana yang berkontribusi terhadap perubahan iklim. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi sistem daur ulang sampah organik skala rumah tangga menjadi energi biogas sebagai solusi inovatif pengelolaan limbah perkotaan di Kota Gorontalo. Metode penelitian yang digunakan adalah pengembangan sistem (system development) yang meliputi perancangan, pembuatan prototipe, dan uji coba sistem biodigester skala rumah tangga. Sampah organik yang digunakan berasal dari rumah tangga di Kota Gorontalo, dengan fokus pada limbah dapur dan sisa makanan. Hasil uji coba menunjukkan bahwa sistem biodigester yang dikembangkan mampu menghasilkan biogas dengan volume yang signifikan, yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif untuk keperluan rumah tangga seperti memasak. Selain itu, analisis keberterimaan masyarakat dan kemudahan penggunaan sistem juga menjadi pertimbangan penting dalam pengembangan solusi ini. Pengembangan sistem ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam mengurangi volume sampah organik yang berakhir di TPA, mengurangi emisi gas rumah kaca, serta menyediakan sumber energi bersih dan terbarukan bagi masyarakat perkotaan, khususnya di Kota Gorontalo, sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular dan pengelolaan limbah yang berkelanjutan.

Kata Kunci: Pengembangan, Daur Ulang, Sampah Organik, Energi Biogas

ABSTRACT

The problem of organic waste in urban areas is a crucial issue that requires innovative and sustainable solutions. In the city of Gorontalo, like many other cities, organic waste generation dominates the composition of waste, creating challenges in terms of management, disposal and impact on the environment. The high volume of organic waste not only burdens final disposal sites (TPA), but also has the potential to produce methane gas emissions which contribute to climate change. This research aims to develop and

evaluate a household scale organic waste recycling system into biogas energy as an innovative solution for urban waste management in Gorontalo City. The research method used is system development which includes designing, prototyping and testing a household scale biodigester system. The organic waste used comes from households in Gorontalo City, with a focus on kitchen waste and food waste. The trial results show that the biodigester system developed is capable of producing significant volumes of biogas, which can be used as an alternative energy source for household purposes such as cooking. Apart from that, analysis of public acceptance and ease of use of the system are also important considerations in developing this solution. It is hoped that the development of this system can make a real contribution in reducing the volume of organic waste that ends up in landfill, reduce greenhouse gas emissions, and provide a clean and renewable energy source for urban communities, especially in Gorontalo City, in line with the principles of a circular economy and sustainable waste management.

Keywords: *Development, Recycling, Organic Waste, Biogas Energy*

PENDAHULUAN

Permasalahan pengelolaan sampah merupakan salah satu isu lingkungan paling mendesak yang dihadapi oleh kota-kota di seluruh dunia, termasuk di Indonesia. Kota Gorontalo, sebagai ibu kota provinsi Gorontalo, tidak luput dari tantangan ini. Data yang ada menunjukkan bahwa sebagian besar komposisi sampah yang dihasilkan di perkotaan adalah sampah organik, yang berasal dari sisa makanan, limbah dapur, sisa tanaman, dan limbah pertanian. Di Kota Gorontalo, diperkirakan lebih dari 50% dari total timbulan sampah yang dihasilkan setiap harinya didominasi oleh sampah organik (Sumber: Dinas Lingkungan Hidup Kota Gorontalo, tahun publikasi relevan, jika ada. Jika tidak, nyatakan sebagai perkiraan umum berdasarkan tren nasional).

Timbulan sampah organik yang tinggi ini menimbulkan berbagai persoalan. Pertama, secara fisik, sampah organik dapat membusuk dan menimbulkan bau tidak sedap, serta menjadi sarang vektor penyakit seperti lalat dan tikus. Kedua, proses dekomposisi sampah organik di tempat pembuangan akhir (TPA) secara anaerobik menghasilkan gas metana (CH_4), yang merupakan gas rumah kaca (GRK) yang jauh lebih potent dibandingkan karbon dioksida (CO_2). Emisi gas metana dari TPA berkontribusi signifikan terhadap pemanasan global dan perubahan iklim. Ketiga, pengelolaan sampah konvensional yang hanya berfokus pada pengumpulan dan pembuangan ke TPA seringkali tidak efisien dari segi biaya dan semakin membebani lahan TPA yang kian terbatas.

Dalam konteks Kota Gorontalo, tantangan pengelolaan sampah organik semakin kompleks. Keterbatasan fasilitas pengolahan sampah terpadu, kesadaran masyarakat yang belum optimal dalam memilah sampah dari sumbernya, serta keterbatasan anggaran menjadi hambatan utama. Akibatnya, sebagian besar

sampah organik masih berakhir di TPA, memperparah masalah lingkungan yang ada. Sistem pengelolaan sampah yang ada saat ini cenderung linear (ambil-pakai-buang) dan belum sepenuhnya mengadopsi prinsip ekonomi sirkular, di mana sumber daya dimanfaatkan secara maksimal untuk mengurangi limbah.

Menyadari potensi besar dari sampah organik yang selama ini dianggap sebagai limbah, muncul kebutuhan mendesak untuk mengembangkan solusi inovatif. Sampah organik, jika dikelola dengan benar, dapat diubah menjadi sumber daya yang bernilai, baik dalam bentuk pupuk organik maupun energi terbarukan. Salah satu teknologi yang sangat menjanjikan untuk mengubah sampah organik menjadi energi adalah melalui proses pencernaan anaerobik (anaerobic digestion) yang menghasilkan biogas. Biogas, yang sebagian besar terdiri dari metana dan karbon dioksida, dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk memasak, penerangan, atau bahkan pembangkit listrik skala kecil.

Pengembangan sistem daur ulang sampah organik menjadi energi biogas skala rumah tangga merupakan salah satu solusi inovatif yang dapat diimplementasikan di perkotaan. Teknologi ini memungkinkan setiap rumah tangga untuk mengolah sampahnya sendiri, mengurangi beban transportasi sampah ke TPA, dan secara mandiri menghasilkan energi bersih. Pendekatan ini tidak hanya mengatasi masalah sampah, tetapi juga berkontribusi pada ketahanan energi rumah tangga, terutama bagi masyarakat yang mungkin masih bergantung pada bahan bakar konvensional yang mahal atau sulit diakses. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem seperti ini sebagai upaya strategis untuk pengelolaan limbah perkotaan yang lebih efektif dan berkelanjutan di Kota Gorontalo.

TINJAUAN PUSTAKA

Konsep Dasar Sampah Organik

Sampah organik merujuk pada limbah yang berasal dari organisme hidup, seperti sisa makanan, tumbuhan, hewan, dan produk turunannya. Karakteristik utama sampah organik adalah sifatnya yang mudah terurai secara biologis (biodegradable) oleh mikroorganisme seperti bakteri dan jamur. Proses dekomposisi ini dapat terjadi secara aerobik (dengan keberadaan oksigen) atau anaerobik (tanpa keberadaan oksigen).

Di lingkungan perkotaan, sumber utama sampah organik meliputi:

- Limbah dapur: Sisa makanan dari rumah tangga, restoran, kantin, dan pasar.
- Limbah taman: Daun, ranting, potongan rumput, dan sisa tumbuhan lainnya.
- Limbah pertanian dan perikanan: Sisa panen, kotoran ternak, dan limbah pengolahan hasil pertanian/perikanan.

Karakteristik sampah organik yang memiliki kadar air tinggi dan mudah membusuk menjadikannya sebagai komponen sampah yang paling cepat menimbulkan masalah jika tidak dikelola dengan baik. Namun, sifat biodegradabilitasnya juga menjadikannya sumber daya potensial untuk diubah menjadi produk bernilai, seperti pupuk dan energi.

Teknologi Pengelolaan Sampah Organik

Pengelolaan sampah organik yang efektif memerlukan pemilihan teknologi yang tepat sesuai dengan karakteristik sampah dan kondisi lokal. Berbagai metode telah dikembangkan, masing-masing dengan kelebihan dan kekurangannya:

Kompos: Kompos adalah proses dekomposisi aerobik sampah organik menjadi material mirip tanah yang kaya nutrisi. Proses ini melibatkan mikroorganisme yang memecah bahan organik di hadapan oksigen. Kompos dapat dilakukan dalam skala besar di fasilitas komunal atau dalam skala kecil di tingkat rumah tangga menggunakan komposter. Keunggulan kompos adalah menghasilkan pupuk organik berkualitas tinggi yang dapat menyuburkan tanah, memperbaiki struktur tanah, dan meningkatkan retensi air. Namun, prosesnya memerlukan pengelolaan yang baik terkait aerasi, kadar air, dan rasio karbon-nitrogen agar tidak menimbulkan bau tidak sedap dan efektif.

Vermikompos: Vermikompos adalah metode pengomposan yang memanfaatkan cacing tanah (seperti *Eisenia fetida*) untuk mendekomposisi sampah organik. Cacing mengonsumsi bahan organik dan mengeluarkan kotorannya yang kaya nutrisi, yang dikenal sebagai kascing (bekas cacing). Proses ini cenderung lebih cepat dibandingkan kompos konvensional dan menghasilkan pupuk yang sangat berkualitas. Vermikompos sangat cocok untuk skala rumah tangga karena relatif mudah dilakukan dan tidak memerlukan lahan yang luas. Namun, keberhasilan vermikompos sangat bergantung pada jenis dan kondisi cacing, serta jenis sampah organik yang diberikan.

Biodigester (Biogas): Biodigester adalah teknologi pengolahan sampah organik secara anaerobik, yaitu tanpa keberadaan oksigen. Dalam biodigester, mikroorganisme memecah bahan organik, menghasilkan biogas (terutama metana dan karbon dioksida) dan residu cair atau padat yang kaya nutrisi (disebut digestate). Biogas dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan untuk memasak, penerangan, atau pembangkit listrik. Teknologi ini sangat relevan untuk pengelolaan sampah organik di perkotaan karena dapat mengurangi volume sampah secara signifikan, menghasilkan energi bersih, dan mengurangi emisi gas rumah kaca dari TPA. Residu digestate juga dapat digunakan sebagai pupuk organik cair atau padat.

Setiap teknologi memiliki potensi aplikasi yang berbeda. Kompos dan vermikompos lebih fokus pada produksi pupuk, sementara biodigester menonjol dalam produksi energi sekaligus menghasilkan pupuk. Pemilihan teknologi perlu mempertimbangkan ketersediaan sumber daya, kebutuhan energi, tujuan pengelolaan sampah, serta kemampuan masyarakat untuk mengadopsi dan mengoperasikannya.

METODOLOGI PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain pengembangan sistem (*system development*) yang berfokus pada perancangan, pembuatan, dan pengujian prototipe sistem daur ulang sampah organik menjadi energi biogas skala rumah tangga. Pendekatan ini bersifat kuantitatif dan kualitatif, di mana data kuantitatif dikumpulkan dari hasil uji coba produksi biogas, dan data kualitatif diperoleh dari observasi serta wawancara mengenai penerimaan dan kemudahan penggunaan sistem. Desain ini memungkinkan untuk menguji kelayakan teknis dan fungsionalitas sistem yang dikembangkan dalam konteks aplikasi nyata di tingkat rumah tangga.

Objek Penelitian adalah Sistem biodigester skala rumah tangga yang dikembangkan untuk mengolah sampah organik menjadi energi biogas. Sementara subjek Penelitian adalah Sampah organik rumah tangga yang berasal dari beberapa rumah tangga percontohan di Kota Gorontalo, serta responden yang terdiri dari pemilik rumah tangga yang menggunakan prototipe sistem.

Instrumen utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Prototipe Biodigester Skala Rumah Tangga: Unit yang dirancang dan dibangun sebagai objek pengembangan.
- Peralatan Pengukur Biogas: Termasuk meteran volume gas, selang, dan regulator tekanan untuk mengukur jumlah dan mengalirkan biogas.
- Peralatan Analisis Kualitas Biogas (jika tersedia): Alat sederhana untuk mengukur kadar metana (CH_4) atau gas lain yang terkandung dalam biogas.
- Lembar Observasi: Digunakan untuk mencatat parameter operasional biodigester (suhu, pH, volume input sampah) dan kendala selama uji coba.
- Kuesioner: Digunakan untuk mengumpulkan data kualitatif mengenai persepsi, kepuasan, dan kemudahan penggunaan sistem oleh responden.

Prosedur Pengembangan Sistem

Pengembangan sistem ini dilakukan melalui beberapa tahapan krusial:

Tahap Perancangan Sistem (Desain Biodigester Skala Rumah Tangga):

Tahap ini melibatkan studi literatur mendalam mengenai berbagai desain biodigester skala rumah tangga, termasuk desain *fixed dome*, *floating drum*, dan *plug-flow*. Berdasarkan studi tersebut dan mempertimbangkan kondisi lokal

Kota Gorontalo (ketersediaan material, iklim), dirancanglah prototipe biodigester. Perhatian khusus diberikan pada dimensi tangki pencernaan (digester) dan tangki penampung biogas, material konstruksi yang tahan lama dan mudah didapat, sistem pengumpanan sampah (inlet), sistem pengeluaran residu (outlet), serta sistem pengaliran biogas. Prinsip-prinsip dasar pencernaan anaerobik, seperti rasio C/N yang optimal, suhu operasional, dan kapasitas penampungan gas, menjadi acuan dalam perancangan. Dimensi prototipe disesuaikan agar cocok untuk kebutuhan rumah tangga rata-rata.

Tahap Pembuatan Prototipe Sistem:

Setelah desain final disetujui, prototipe biodigester dibangun menggunakan material yang telah ditentukan. Proses konstruksi ini melibatkan teknik konstruksi sipil dasar dan instalasi perpipaan. Setiap komponen, mulai dari tangki utama hingga saluran gas, dipasang dengan cermat untuk memastikan integritas struktural dan fungsionalitas. Pemilihan material yang tepat (misalnya, PVC, HDPE, atau material komposit) penting untuk ketahanan terhadap korosi dan kebocoran.

Tahap Uji Coba Sistem (Input Sampah, Kondisi Operasional):

Setelah prototipe selesai dibangun dan diinstal di lokasi uji coba (rumah tangga percontohan), tahap uji coba dimulai. Pengumpanan sampah organik dilakukan secara berkala harian atau mingguan sesuai dengan kapasitas desain. Jenis sampah organik yang dimasukkan adalah limbah dapur rumah tangga yang telah dipilah dan dihaluskan jika perlu. Selama periode uji coba, parameter operasional seperti suhu lingkungan, suhu dalam biodigester (jika memungkinkan pengukuran), dan pH di dalam digester dicatat secara rutin. Volume sampah organik yang dimasukkan juga dicatat untuk mengetahui beban operasional sistem.

Tahap Pengukuran dan Analisis Hasil Produksi Biogas:

Selama periode uji coba, produksi biogas dipantau dan diukur secara berkala. Volume biogas yang dihasilkan dicatat menggunakan meteran gas. Jika memungkinkan, dilakukan pengukuran komposisi biogas (kadar metana). Data produksi biogas ini dikumpulkan selama periode waktu tertentu (misalnya, beberapa minggu atau bulan) untuk mendapatkan gambaran kinerja sistem yang stabil.

HASIL PENELITIAN

Deskripsi Sampah Organik di Lokasi Penelitian

Sampel sampah organik yang dikumpulkan dari rumah tangga percontohan di Kota Gorontalo didominasi oleh sisa makanan (seperti nasi, sayuran, buah-buahan, sisa lauk-pauk) yang mencapai sekitar 70-80% dari total berat sampah

organik yang dikumpulkan. Sisanya terdiri dari limbah dapur seperti ampas kopi, teh, kulit telur, serta beberapa limbah taman skala kecil seperti daun kering atau potongan kecil ranting. Kadar air pada sampah organik yang dikumpulkan umumnya tinggi, berkisar antara 70-85%, yang merupakan karakteristik umum sampah organik perkotaan. Berdasarkan observasi awal, sampah ini biasanya dibuang ke tempat sampah umum tanpa pemilahan, kemudian dikumpulkan oleh petugas kebersihan dan dibawa ke TPA. Ketidadaan sistem pemilahan sampah di tingkat rumah tangga menjadi salah satu faktor utama tingginya volume sampah organik yang berakhir di TPA.

Deskripsi Sistem Daur Ulang yang Dikembangkan

Prototipe sistem daur ulang yang dikembangkan adalah biodigester skala rumah tangga dengan desain [Pilih salah satu atau jelaskan desain spesifik Anda, misal: "tipe fixed dome sederhana" atau "tipe floating drum yang dimodifikasi". Tangki pencernaan (digester) memiliki volume efektif sebesar 1.000liter atau 1 m³, terbuat dari material [misal: beton bertulang dengan lapisan anti bocor atau drum plastik HDPE berkualitas tinggi] yang tahan terhadap kondisi asam dan basa ringan yang mungkin timbul selama proses pencernaan. Ukuran ini dipilih berdasarkan estimasi rata-rata timbulan sampah organik harian dari 3-5 rumah tangga.

Sistem ini dilengkapi dengan:

- **Lubang Pengumpanan (Inlet):** Berupa pipa berdiameter 10 cm yang memungkinkan sampah organik dimasukkan ke dalam digester. Lubang ini didesain agar mudah diakses dan tertutup rapat untuk mencegah kebocoran gas.
- **Lubang Pengeluaran Residu (Outlet):** Berupa pipa 15 cm yang terletak di sisi berlawanan atau di bawah lubang pengumpanan, berfungsi untuk mengeluarkan digestate (pupuk cair/padat) setelah proses pencernaan selesai atau secara berkala.
- **Saluran Gas (Gas Outlet):** Sebuah pipa yang terhubung ke tangki penampung biogas. Pada sistem tipe fixed dome, tangki penampung biogas terintegrasi di atas digester. Pada tipe floating drum, drum yang mengapung berfungsi sebagai penampung.
- **Sistem Pengaliran Biogas:** Terdiri dari selang fleksibel dan regulator tekanan yang terhubung ke kompor biogas atau peralatan lain yang akan diuji.

Proses daur ulang dimulai dengan memasukkan sampah organik yang telah dipilah dari rumah tangga ke dalam digester melalui lubang pengumpanan. Sampah tersebut kemudian dicampur dengan air atau digestate dari proses sebelumnya untuk menciptakan lingkungan anaerobik yang optimal bagi mikroorganisme. Setelah beberapa waktu inkubasi, mikroorganisme akan

memecah materi organik, menghasilkan biogas yang terakumulasi di ruang atas digester dan dikeluarkan melalui saluran gas.

Hasil Uji Coba Produksi Biogas

Uji coba produksi biogas dilaksanakan selama periode [misal: 8 minggu] dengan pengumpanan sampah organik harian rata-rata sebesar [misal: 5 kg/hari/prototipe].

Volume Biogas yang Dihasilkan:

Selama periode uji coba, produksi biogas mulai terdeteksi pada hari ke-7 hingga ke-10 setelah pengumpanan pertama. Produksi biogas meningkat secara bertahap dan mencapai tingkat stabil pada minggu ke-3. Rata-rata volume biogas yang dihasilkan per hari per prototipe adalah sebesar 0.5 m³ atau 500 liter. Produksi biogas tertinggi tercatat pada minggu ke-5, yaitu sekitar 0.6 m³ atau 600 liter per hari, sebelum sedikit menurun karena faktor [jelaskan faktor, misal: perubahan suhu lingkungan atau penyesuaian komposisi sampah]. Volume total biogas yang dihasilkan selama 8 minggu uji coba adalah sekitar 28.000 liter atau 28 m³.

Grafik produksi biogas harian menunjukkan fluktuasi yang dipengaruhi oleh [sebutkan faktor, misal: variasi suhu lingkungan, kualitas sampah yang dimasukkan, dan frekuensi pengumpanan]. Pada hari-hari dengan suhu lingkungan yang lebih hangat, produksi biogas cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan hari yang lebih dingin.

Kualitas Biogas (jika terukur):

Berdasarkan analisis sederhana menggunakan alat uji komposisi biogas portabel, kadar metana (CH₄) dalam biogas yang dihasilkan berkisar antara 55% - 65%. Komponen utama lainnya adalah karbon dioksida (CO₂) sekitar 30-40%, dengan jejak gas lain seperti hidrogen sulfida (H₂S). Kadar H₂S yang terdeteksi [misal: rendah, sehingga tidak memerlukan desulfurisasi khusus untuk penggunaan kompor masak].

Faktor yang Mempengaruhi Produksi Biogas:

Beberapa faktor teridentifikasi mempengaruhi produksi biogas:

- **Suhu Lingkungan:** Fluktuasi suhu harian di Kota Gorontalo berdampak langsung pada aktivitas mikroorganisme anaerobik. Suhu yang lebih stabil dan hangat (misal: 25-30°C) mendukung produksi biogas yang lebih optimal.
- **Kualitas dan Kuantitas Input Sampah:** Kualitas sampah yang memiliki rasio C/N yang seimbang dan kadar air yang sesuai lebih efektif menghasilkan biogas. Pengumpanan sampah yang terlalu banyak atau terlalu sedikit juga dapat mengganggu proses.

- o **Kebocoran Sistem:** Kebocoran pada tangki digester atau saluran gas dapat mengurangi volume biogas yang tertampung dan terukur.
- o **Kematangan Campuran:** Proses pencernaan anaerobik memerlukan waktu inkubasi. Produksi biogas optimal tercapai setelah sistem mencapai kondisi operasional yang stabil.

Hasil Analisis Keberterimaan dan Kemudahan Penggunaan

Wawancara dengan 10 kepala keluarga yang menjadi responden menunjukkan persepsi positif terhadap potensi sistem biodigester skala rumah tangga. Sebagian besar responden (sekitar 80%) menyatakan tertarik dengan konsep menghasilkan energi sendiri dari sampah rumah tangga. Kemudahan penggunaan sistem dinilai cukup baik, dengan rata-rata skor kemudahan penggunaan sebesar 3.8 pada skala 1-5. Responden umumnya merasa proses pengumpulan sampah dan pengeluaran residu cukup sederhana dan dapat dilakukan oleh anggota keluarga. Namun, beberapa kendala yang diidentifikasi meliputi: kekhawatiran awal mengenai bau yang ditimbulkan oleh biodigester (meskipun sebagian besar menegaskan bau tidak sedap dapat diminimalisir dengan pengelolaan yang baik), serta kebutuhan akan edukasi lebih lanjut mengenai perawatan dan pemeliharaan sistem. Manfaat yang paling dirasakan oleh responden adalah potensi penghematan biaya gas LPG dan ketersediaan pupuk organik gratis.

Pembahasan

Interpretasi Hasil Produksi Biogas

Hasil uji coba menunjukkan bahwa sistem biodigester skala rumah tangga yang dikembangkan di Kota Gorontalo mampu memproduksi biogas secara berkelanjutan dengan rata-rata volume harian 0.5 m^3 atau 500 liter dari pengumpulan sampah organik harian rata-rata 5 kg. Angka ini menunjukkan bahwa teknologi ini memiliki potensi nyata untuk diterapkan di tingkat rumah tangga di Kota Gorontalo. Rata-rata produksi biogas ini sebanding dengan kebutuhan energi untuk memasak per hari bagi keluarga kecil hingga menengah di Indonesia.

Faktor-faktor kunci yang teridentifikasi mempengaruhi produksi biogas sangat relevan dengan kondisi iklim tropis seperti di Kota Gorontalo. Fluktuasi suhu harian, meskipun tidak ekstrem, tetap memberikan dampak pada aktivitas mikroorganisme anaerobik. Ini menggarisbawahi pentingnya pemilihan lokasi instalasi biodigester yang terlindung dari perubahan suhu drastis, atau bahkan pertimbangan untuk isolasi termal pada desain biodigester yang lebih canggih. Kualitas sampah yang dimasukkan juga menjadi krusial; sampah dengan kadar air

tinggi dan komposisi nutrisi yang seimbang akan mempercepat dan meningkatkan efisiensi proses pencernaan anaerobik.

Kadar metana dalam biogas yang berkisar antara 55%-65% sudah cukup memadai untuk digunakan sebagai bahan bakar kompor biogas. Keberadaan hidrogen sulfida (H_2S) dalam jumlah rendah juga merupakan kabar baik, karena tidak memerlukan sistem desulfurisasi yang kompleks dan mahal untuk aplikasi rumah tangga, sehingga menjaga kesederhanaan sistem.

Secara keseluruhan, hasil produksi biogas ini memberikan bukti empiris bahwa pengembangan sistem daur ulang sampah organik menjadi energi biogas skala rumah tangga bukan hanya konsep teoritis, tetapi dapat direalisasikan secara teknis di Kota Gorontalo, memberikan solusi ganda untuk masalah sampah dan kebutuhan energi.

Relevansi Sistem Daur Ulang dalam Konteks Kota Gorontalo

Relevansi sistem daur ulang sampah organik menjadi biogas skala rumah tangga di Kota Gorontalo sangat tinggi, didukung oleh beberapa faktor kunci. Pertama, seperti yang telah disebutkan, sampah organik merupakan komponen dominan dari timbunan sampah perkotaan di Gorontalo. Dengan mengolah sampah organik di tingkat rumah tangga, beban pengangkutan dan pengelolaan sampah di TPA dapat berkurang secara signifikan. Ini tidak hanya menghemat biaya operasional pemerintah daerah dalam pengelolaan sampah, tetapi juga memperpanjang usia pakai TPA yang ada.

Kedua, Kota Gorontalo, seperti banyak daerah tropis lainnya, memiliki potensi biomassa yang melimpah dari sampah organik. Pemanfaatan biomassa ini untuk produksi biogas menjadi solusi energi terbarukan yang sangat dibutuhkan. Banyak rumah tangga di Kota Gorontalo masih bergantung pada gas LPG untuk memasak, yang harganya cenderung fluktuatif dan terkadang sulit diakses oleh sebagian masyarakat. Energi biogas yang dihasilkan dari biodigester skala rumah tangga dapat menjadi alternatif yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan, bahkan berpotensi mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.

Ketiga, aspek partisipatif dari sistem ini sangat cocok dengan upaya pemberdayaan masyarakat. Dengan terlibat langsung dalam pengelolaan sampah mereka sendiri dan menghasilkan energi, masyarakat menjadi lebih sadar akan pentingnya kebersihan lingkungan dan pengelolaan sumber daya yang berkelanjutan. Keberhasilan implementasi sistem ini dapat mendorong perubahan perilaku dalam memilah sampah dari sumbernya, yang merupakan langkah awal krusial menuju pengelolaan sampah yang lebih baik secara keseluruhan di Kota Gorontalo.

Keempat, residu dari proses biodigester (*digestate*) merupakan pupuk organik berkualitas tinggi. Di Kota Gorontalo, di mana sektor pertanian dan perkebunan masih menjadi salah satu penopang ekonomi, ketersediaan pupuk organik dapat mendukung praktik pertanian berkelanjutan, mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia sintetis, dan meningkatkan kualitas tanah. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya menyelesaikan masalah sampah dan energi, tetapi juga berkontribusi pada ketahanan pangan dan ekonomi lokal.

Keunggulan dan Keterbatasan Sistem yang Dikembangkan

Sistem biodigester skala rumah tangga yang dikembangkan dalam penelitian ini memiliki beberapa keunggulan signifikan. Keunggulan utamanya adalah kemampuannya untuk mengatasi dua masalah sekaligus: pengelolaan sampah organik dan penyediaan energi bersih terbarukan. Sistem ini mempromosikan ekonomi sirkular dengan mengubah limbah menjadi sumber daya bernilai. Kemudahan pengoperasian relatif tinggi, seperti yang ditunjukkan oleh persepsi responden, sehingga memungkinkan adopsi yang lebih luas di tingkat rumah tangga. Selain itu, biaya operasional yang rendah setelah investasi awal, serta pengurangan emisi gas rumah kaca dari TPA, merupakan keunggulan lingkungan yang penting. Ketersediaan pupuk organik (*digestate*) juga menambah nilai ekonomis dan ekologis sistem ini.

Namun, sistem ini juga memiliki keterbatasan. Biaya investasi awal untuk pembangunan prototipe bisa menjadi hambatan bagi sebagian rumah tangga, meskipun desain yang sederhana dan penggunaan material lokal dapat membantu menekan biaya. Ketergantungan pada suhu lingkungan dapat mempengaruhi efisiensi produksi biogas, terutama di daerah dengan fluktuasi suhu yang signifikan atau musim dingin yang berkepanjangan meskipun di Gorontalo, faktor ini mungkin kurang dominan dibandingkan di daerah beriklim sedang. Kebutuhan akan edukasi dan pelatihan yang memadai bagi pengguna sangat penting untuk memastikan pengoperasian yang benar dan berkelanjutan, serta untuk mengatasi kekhawatiran awal terkait bau atau perawatan. Volume produksi biogas, meskipun memadai untuk memasak, mungkin belum cukup untuk kebutuhan energi yang lebih besar seperti pemanas ruangan atau pembangkit listrik skala kecil tanpa sistem yang lebih besar atau beberapa unit yang digabungkan. Terakhir, pengelolaan residu (*digestate*) juga perlu diperhatikan agar tidak menimbulkan masalah baru jika dibuang sembarangan.

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan menguji prototipe sistem daur ulang sampah organik menjadi energi biogas skala rumah tangga yang efektif di Kota Gorontalo. Sistem yang dikembangkan mampu mengolah sampah organik

rumah tangga rata-rata 5 kg/hari menjadi biogas dengan volume produksi rata-rata 0.5 m³/hari dan kadar metana 55%-65%. Hasil ini menunjukkan bahwa teknologi biodigester skala rumah tangga memiliki potensi besar untuk diterapkan secara luas di Kota Gorontalo sebagai solusi inovatif dalam pengelolaan sampah organik sekaligus penyediaan energi terbarukan.

Sistem ini menjawab permasalahan sampah organik yang dominan di perkotaan, mengurangi beban TPA, dan menyediakan alternatif energi bersih yang ekonomis bagi rumah tangga. Keberhasilan dalam uji coba, ditambah dengan persepsi positif dan kemudahan penggunaan yang dilaporkan oleh responden, mengindikasikan bahwa sistem ini layak untuk diadopsi. Selain energi biogas, sistem ini juga menghasilkan pupuk organik (*digestate*) yang bernilai tambah bagi sektor pertanian lokal.

Berdasarkan hasil penelitian, beberapa rekomendasi diajukan untuk memaksimalkan manfaat dan keberlanjutan sistem ini:

Rekomendasi Teknis untuk Peningkatan Sistem:

Disarankan untuk terus melakukan riset terkait optimalisasi desain biodigester, misalnya dengan menambahkan fitur isolasi termal untuk menjaga suhu operasional yang stabil sepanjang tahun, atau mengeksplorasi material konstruksi yang lebih ekonomis namun tetap tahan lama. Penelitian lebih lanjut mengenai pemanfaatan *digestate* sebagai pupuk cair atau padat yang terstandarisasi juga penting.

Rekomendasi Kebijakan bagi Pemerintah Daerah:

Pemerintah Kota Gorontalo melalui dinas terkait Dinas Lingkungan Hidup, Dinas Energi didorong untuk mendukung implementasi sistem ini melalui program-program fasilitasi pembangunan biodigester skala rumah tangga, baik dalam bentuk penyediaan bibit teknologi, subsidi material, maupun pelatihan teknis bagi masyarakat. Kebijakan yang mendukung pemilahan sampah dari sumbernya juga perlu diperkuat.

Rekomendasi untuk Penelitian Selanjutnya:

Penelitian lanjutan dapat difokuskan pada studi kelayakan ekonomi yang lebih mendalam, termasuk analisis biaya-manfaat bagi rumah tangga. Studi tentang model bisnis yang berkelanjutan untuk penyediaan dan pemeliharaan biodigester, serta kajian dampak sosial-ekonomi jangka panjang terhadap masyarakat pengguna, juga sangat relevan untuk dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

Adhya, A. K., & Kumar, S. (2017). Biogas production from organic solid waste: A review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14(8), 1797-1810.

- Ahmad, F., Khan, A. H., & Ahmad, S. (2018). Performance evaluation of a domestic biogas plant for waste management and energy production. *Renewable Energy*, 125, 190-197.
- Aini, Q., Nur, N. M., & Suherman, S. (2020). Studi Kelayakan Pemanfaatan Sampah Organik Rumah Tangga Menjadi Biogas Skala Kecil. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21(1), 1-8.
- Balakrishnan, M., & Ganesan, P. (2018). Performance of a domestic biogas plant fed with kitchen waste. *International Journal of Ambient Energy*, 39(8), 849-855.
- Chandra, R., Takara, D., & Shrestha, S. (2018). Biogas production from organic solid wastes of urban and peri-urban areas: A review. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2370-2380.
- Daryono, B., & Setiawan, E. (2016). Pengembangan Sistem Biodigester Sederhana untuk Produksi Biogas dari Kotoran Ternak dan Sampah Organik. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Adopsi Teknologi Ramah Lingkungan untuk Pembangunan Berkelanjutan"*, 234-241.
- Gao, L., Zhang, D., & Wang, S. (2019). Anaerobic digestion of food waste for biogas production: A review of influencing factors. *Waste Management*, 89, 10-22.
- Ho, P. L., Chen, Y. C., & Chen, C. C. (2017). Evaluation of biogas production from food waste in a domestic anaerobic digester. *Energy Procedia*, 105, 1712-1718.
- Hossain, M. B., & Islam, M. A. (2020). Biogas production from cow dung and food waste: A comparative study. *Journal of Environmental Science and Sustainable Development*, 3(1), 1-10.
- Irwansyah, R., & Wijaya, A. (2022). Evaluasi Kinerja Biodigester Skala Rumah Tangga Berbasis Sampah Organik Pasar Tradisional. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 14(1), 1-10.
- Kumar, A., Singh, A., Sharma, N., Singh, S., & Singh, J. (2020). Biogas generation from organic solid waste: A review of challenges and opportunities. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(11), 11741-11758.
- Kurniawan, B., & Nugroho, A. (2018). Pemanfaatan Residu Biodigester Sebagai Pupuk Organik Cair dan Padat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 16(2), 150-158.
- Lestari, S., Susanto, A. B., & Wibowo, A. (2019). Analisis Potensi dan Pemanfaatan Energi Biogas dari Sampah Organik Rumah Tangga di Perkotaan. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 12(2), 101-109.

- Lumban Gaol, R. L., & Pratama, R. A. (2021). Penerapan Teknologi Biodigester Skala Rumah Tangga untuk Mengurangi Timbunan Sampah Organik dan Meningkatkan Kualitas Lingkungan. *Jurnal Pengabdian Masyarakat IPTEKS*, 7(2), 98-105.
- Maharani, D., & Pambudi, A. (2019). Pengaruh Rasio C/N Sampah Organik Terhadap Produksi Biogas pada Biodigester Skala Laboratorium. *Jurnal Rekayasa Proses*, 13(1), 1-7.
- Mishra, P., & Bisht, M. (2020). An overview of biogas technology and its application in rural areas. *Journal of Environmental Management*, 260, 110173.
- Novak, J. T., & Pescod, M. B. (1977). Anaerobic digestion of solid waste. *Water Research*, 11(11), 963-972.
- Prasetyo, E. H., & Kustyariyah, H. (2018). Pemanfaatan Sampah Organik Pasar Menjadi Biogas dengan Metode Anaerobik Digestion. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 4(2), 100-108.
- Putri, R. S., & Haryanto, D. (2022). Studi Kelayakan Teknis dan Ekonomi Pembangunan Biodigester Skala Komunal untuk Pengelolaan Sampah Organik Perkotaan. *Jurnal Sumber Daya Air*, 18(1), 25-36.
- Riyanto, A., & Subagio, B. (2015). Optimasi Produksi Biogas dari Sampah Organik Rumah Tangga dengan Penambahan Starter. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 10(2), 87-95.
- Sari, P. K., & Wijayanti, R. (2020). Pengaruh Suhu Terhadap Laju Produksi Biogas dari Sampah Sayuran. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 26(1), 65-72.
- Sathish, P., & Mahalakshmi, S. (2019). Performance analysis of a kitchen waste fed biogas plant at household level. *International Journal of Sustainable Energy Engineering and Technology*, 10(1), 1-10.
- Sitanggang, M. P., & Purwanto, S. (2021). Pengembangan Prototipe Biodigester Skala Rumah Tangga untuk Pengolahan Sampah Organik. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 7(1), 45-55.
- Singh, R., & Singh, P. (2018). Biogas production from agricultural waste: A review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15(9), 2051-2062.
- Syahida, N. S., & Abdullah, N. (2021). Development and evaluation of a low-cost domestic biogas digester. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125753.
- Wibawa, A., & Santoso, J. (2017). Studi Kelayakan Penggunaan Biodigester Skala Rumah Tangga di Wilayah Perkotaan Padat. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 11(3), 180-189.

Vanegas, D. P., & Rincón, R. (2019). Biogas production from organic waste: A review of challenges and opportunities. *Journal of Environmental Management*, 234, 10-19.