

Analisis Kinerja Mesin Hidrolik Pengepres Sampah *Mobile* dalam Mendukung Efisiensi Pengelolaan Sampah Terpilah di Bank Sampah, Yogyakarta

Agus Widyianto^{1*}, Wahyu Arrozi², Yoga Guntur Sampurno¹, Paryanto³, Asri Widowati⁴, Tien Aminatun⁵, dan Sunarta⁶

¹Departemen Teknik Mesin dan Otomotif, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia; e-mail: aguswidyianto@uny.ac.id

²Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

³Departemen Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

⁴Departemen Pendidikan IPA, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

⁵Departemen Pendidikan Biologi, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

⁶Departemen Bisnis dan Keuangan, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

ABSTRAK

Pengelolaan sampah plastik di Indonesia terus meningkat dan menjadi tantangan, khususnya untuk botol, galon, dan label plastik yang memerlukan ruang penyimpanan besar serta sulit ditangani tanpa teknologi pemadatan yang efisien. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja mesin hidrolik pengepres sampah mobile dalam memadatkan tiga jenis sampah plastik, yaitu botol plastik, galon plastik, dan label plastik, dengan parameter yang diukur meliputi pengurangan volume dan berat sampah, waktu operasional, kapasitas produksi, serta estimasi efisiensi biaya transportasi. Metode penelitian melibatkan uji coba mesin terhadap ketiga jenis sampah tersebut dalam tiga siklus pengepresan untuk mendapatkan data rata-rata. Parameter kinerja yang dievaluasi meliputi persentase pengurangan volume dan berat, waktu operasional, kapasitas produksi, serta estimasi efisiensi biaya transportasi. Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk mengevaluasi efisiensi pengepresan. Hasil menunjukkan pengurangan volume tertinggi terjadi pada galon plastik ($83,5 \pm 0,6\%$), diikuti botol plastik ($78,6 \pm 1,4\%$) dan label plastik ($66,2 \pm 2,4\%$). Pengurangan berat relatif kecil, dengan galon tetap tertinggi ($3,19 \pm 0,3\%$), sedangkan botol dan label masing-masing $0,54 \pm 0,3\%$ dan $0,8 \pm 0,5\%$. Perbedaan kinerja mencerminkan karakteristik material: plastik berukuran besar dan berongga lebih mudah dipadatkan dibanding plastik ringan dan fleksibel. Secara keseluruhan, mesin pengepres mobile berpotensi meningkatkan efisiensi ruang penyimpanan dan transportasi, serta mendukung proses daur ulang melalui hasil pemadatan yang lebih stabil untuk penerapan di bank sampah dan fasilitas pengelolaan limbah.

Kata kunci: Mesin pengepres sampah, Kapasitas pengepresan, Botol plastik, Sampah terpilah, Efisiensi ekonomi

ABSTRACT

Plastic waste management in Indonesia continues to increase and poses challenges, especially for bottles, gallons, and plastic labels that require large storage space and are difficult to handle without efficient compaction technology. This study aims to analyze the performance of mobile hydraulic waste compactors in compacting three types of plastic waste, namely plastic bottles, plastic gallons, and plastic labels, with measured parameters including waste volume and weight reduction, operational time, production capacity, and estimated transportation cost efficiency. The research method involved testing the machine on the three types of waste in three compaction cycles to obtain average data. The performance parameters evaluated include the percentage reductions in volume and weight, operational time, production capacity, and estimated transportation cost efficiency. The data were analyzed descriptively and quantitatively to evaluate the compression efficiency. The results showed that the highest volume reduction occurred in plastic gallons ($83.5 \pm 0.6\%$), followed by plastic bottles ($78.6 \pm 1.4\%$) and plastic labels ($66.2 \pm 2.4\%$). The weight reduction was relatively small, with gallons remaining the highest ($3.19 \pm 0.3\%$), while bottles and labels were $0.54 \pm 0.3\%$ and $0.8 \pm 0.5\%$, respectively. The difference in performance reflects the materials' characteristics: large, hollow plastics are easier to compact than lightweight, flexible plastics. Overall, mobile compactors have the potential to increase storage and transportation efficiency and to support the recycling process by providing more stable compaction results for use in waste banks and waste management facilities.

Keywords: Waste pressing machine, Pressing capacity, Plastic bottles, Sorted waste, Economic efficiency

Citation: Widyianto, A., Arrozi, W., Sampurno, Y. G., Paryanto, Widowati, A., Aminatun, T., dan Sunarta. (2025). Analisis Kinerja Mesin Hidrolik Pengepres Sampah *Mobile* dalam Mendukung Efisiensi Pengelolaan Sampah Terpilah di Bank Sampah, Yogyakarta. Jurnal Ilmu Lingkungan, 23(6), 1527-1537, doi:10.14710/jil.23.6.1527-1537

1. PENDAHULUAN

Masalah pengelolaan sampah terus menjadi tantangan utama di Indonesia. Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2022, Indonesia menghasilkan sekitar 68 juta ton sampah setiap tahun, dengan 57% dari total tersebut tidak terkelola dengan baik (Azzahra et al., 2024). Sampah yang tidak dikelola secara optimal sering kali mencemari lingkungan, memperburuk kondisi sanitasi, dan memperparah dampak perubahan iklim melalui emisi gas metana yang dihasilkan dari tempat pembuangan akhir. Sampah yang tidak terkelola ini juga berdampak langsung pada kehidupan masyarakat, termasuk meningkatkan risiko kesehatan akibat pencemaran air tanah oleh limbah domestik, pencemaran udara dari pembakaran terbuka, serta banjir yang disebabkan oleh saluran air yang tersumbat (P. Sinaga, Harefa, Siburian, & Aisyah, 2023). Kondisi serupa terjadi di Yogyakarta, yang dikenal sebagai salah satu destinasi wisata utama di Indonesia. Kota ini menghasilkan jumlah sampah yang signifikan akibat aktivitas masyarakat lokal, wisatawan domestik, dan mancanegara. Yogyakarta menghasilkan rata-rata 1.200 ton sampah per hari, dengan kontribusi utama berasal dari sektor rumah tangga, pasar tradisional, dan area wisata (Lupiyanto, Hamzah, & Nurhasanah, 2023). Volume sampah yang tinggi ini memberikan tekanan besar pada tempat pembuangan akhir (TPA) yang sudah mendekati kapasitas maksimum, seperti TPA Piyungan, yang sering kali menjadi sorotan karena masalah pengelolaan dan penanganan limbah yang tidak memadai.

Selain itu, karakteristik sampah di Yogyakarta yang sebagian besar terdiri dari sampah organik (sekitar 60%) dan sampah anorganik seperti plastik dan kertas (sekitar 30%) menunjukkan adanya potensi besar untuk pengelolaan berbasis daur ulang. Namun, tantangan utama adalah minimnya infrastruktur dan teknologi yang mendukung pengelolaan sampah secara efektif (Lubis, Arifin, & Fitrianiingsih, 2022). Sebagian besar sampah terpilah yang berpotensi didaur ulang masih berakhir di TPA atau bahkan mencemari lingkungan, karena sistem pengelolaan yang belum terintegrasi dengan baik (P. Singh & Sharma, 2016). Salah satu tantangan utama yang dihadapi bank sampah adalah proses pengepresan sampah terpilah. Metode manual yang masih banyak digunakan memakan waktu, tenaga, dan biaya operasional yang tinggi, sehingga membatasi kapasitas dan kecepatan pengelolaan (Purnomo, 2021; N. Singh et al., 2017). Hal ini mendorong perlunya adopsi teknologi yang dapat meningkatkan efisiensi, seperti mesin hidrolik pengepres sampah *mobile*. Mesin ini dirancang untuk memadatkan sampah dengan tekanan hidrolik yang tinggi, mengurangi volume sampah hingga 80%, dan mempermudah transportasi serta penyimpanan. Teknologi ini juga memiliki mobilitas tinggi, sehingga

dapat digunakan di berbagai lokasi sesuai kebutuhan operasional bank sampah.

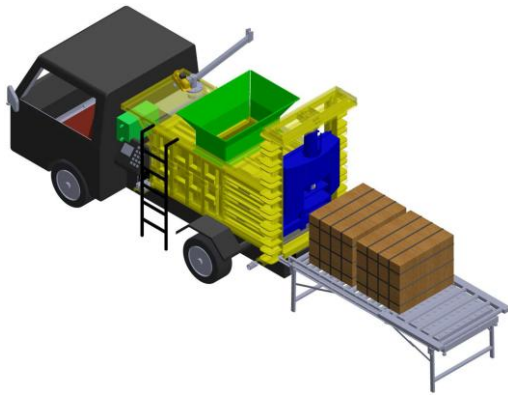
Penelitian-penelitian sebelumnya telah berfokus pada perancangan dan pembuatan mesin pengepres sampah dengan berbagai mekanisme, seperti sistem hidrolik dan ulir, yang ditujukan untuk mengurangi volume sampah dan mempermudah proses pengelolaan. Misalnya, studi oleh Putra dan Wahid (Putra & Wahid, 2021) mengembangkan prototipe mesin pengepres hidrolik untuk limbah plastik, yang memudahkan masyarakat dalam mengurangi volume sampah plastik. Sementara itu, penelitian oleh Hermawanto (Hermawanto, Tjahjanti, & Firmansyah, 2023) membahas pembuatan dan pengujian mesin pengepres sampah anorganik dengan sistem ulir, yang efektif dalam mengurangi volume sampah anorganik. Selain itu, perancangan mesin press hidrolik untuk mengurangi kadar air dalam sampah juga telah dilakukan, seperti yang dibahas dalam penelitian oleh Ekaputra (Ekaputra, 2024). Upaya ini bertujuan meningkatkan efisiensi proses pengolahan sampah selanjutnya. Namun, penerapan teknologi mesin pengepres sampah *mobile* yang dapat mendukung efisiensi pengelolaan sampah terpilah di bank sampah, khususnya di Yogyakarta, masih belum banyak diteliti.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja mesin hidrolik pengepres sampah *mobile* di bank sampah Yogyakarta, dengan fokus pada peningkatan efisiensi pengelolaan sampah terpilah. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi kapasitas pengepresan, waktu operasional, efektivitas reduksi volume, dan estimasi efisiensi biaya transportasi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi bagi pengembangan teknologi pengelolaan sampah yang lebih efisien dan berkelanjutan di Yogyakarta dan wilayah lain.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Prototipe Mesin Hidrolik Pengepres Sampah *Mobile*

Gambar 1 menunjukkan desain mesin hidrolik pengepres sampah *mobile* yang dirancang untuk mendukung efisiensi pengelolaan sampah terpilah, khususnya di lingkungan bank sampah. Desain ini mengintegrasikan sistem pengepresan hidrolik pada platform kendaraan *mobile*, yang memungkinkan mesin digunakan di berbagai lokasi dengan mobilitas tinggi. Terdapat beberapa komponen utama yaitu kendaraan, mesin hidrolik pengepres, wadah pemasukan sampah, conveyor, hasil pengepresan sampah dan sistem operasi yang ergonomis. Desain ini dirancang untuk memenuhi kebutuhan pengelolaan sampah yang efisien dan fleksibel, terutama di lokasi dengan akses terbatas. Dengan mobilitasnya, mesin ini dapat digunakan langsung di sumber sampah, seperti kawasan permukiman, pasar, atau lokasi wisata, sehingga meminimalkan biaya dan waktu pengangkutan sampah.



Gambar 1. Desain Mesin Hidrolik Pengepres Sampah *Mobile*

Gambar 2 menunjukkan prototipe mesin hidrolik pengepres sampah *mobile* yang dirancang untuk mendukung pengelolaan sampah terpilah di lokasi sumbernya. Prototipe ini merupakan implementasi nyata dari desain yang telah dirancang sebelumnya, dengan integrasi sistem pengepresan sampah ke dalam platform kendaraan. Prototipe ini dibangun di atas kendaraan jenis truk ringan, yang berfungsi sebagai platform untuk menempatkan mesin pengepres hidrolik. Mobilitas kendaraan memungkinkan mesin ini dapat digunakan di berbagai lokasi, seperti pasar, permukiman, dan kawasan wisata. Sistem hidrolik terintegrasi di bagian tengah kendaraan, berwarna kuning. Sistem ini berfungsi untuk memadatkan sampah terpilah dengan tekanan tinggi. Mesin ini dirancang untuk bekerja secara efisien dalam memadatkan berbagai jenis sampah, termasuk plastik, kertas, dan logam.



Gambar 2. Prototipe Mesin Hidrolik Pengepres Sampah *Mobile*

Wadah pemasukan sampah terletak di bagian atas mesin pengepres, berwarna hijau. Sampah dimasukkan melalui wadah ini untuk kemudian diproses di ruang pengepres. Prototipe ini dilengkapi dengan rangka pelindung yang kokoh untuk mendukung kestabilan mesin selama proses pengepresan. Struktur rangka juga menjaga keamanan operator selama proses operasional. Conveyor terpasang di bagian belakang kendaraan untuk memindahkan hasil pengepresan berupa balok sampah yang padat. Conveyor ini mempermudah proses pengangkutan hasil pengepresan ke lokasi penyimpanan atau tempat daur ulang. Prototipe ini dirancang untuk memaksimalkan efisiensi pengelolaan sampah di tingkat lokal. Dengan

mobilitasnya, prototipe ini memungkinkan pengolahan sampah langsung di lokasi sumber, sehingga mengurangi biaya transportasi dan mempercepat proses pengelolaan. Prototipe ini diharapkan dapat menjadi solusi inovatif yang mendukung sistem pengelolaan sampah berkelanjutan di berbagai daerah.

2.2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan September hingga November 2024, dengan fokus pada pengelolaan sampah plastik di salah satu bank sampah, yaitu Sentral Busa, yang berlokasi di Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Bank sampah ini dipilih sebagai lokasi penelitian karena memiliki aktivitas utama yang relevan dengan studi ini, yaitu pengolahan sampah plastik terpilah, khususnya jenis botol dan galon plastik. Lokasi ini merupakan salah satu bank sampah yang aktif dalam mendukung program pengelolaan sampah terpilah di tingkat komunitas, serta telah menjadi mitra berbagai kegiatan daur ulang di wilayahnya. Gambar 3 menunjukkan bagian dalam dari lokasi penelitian di Sentral Busa, Bantul. Area ini dirancang secara khusus untuk memproses sampah plastik menjadi bahan yang lebih terkompresi dan siap untuk didistribusikan ke industri daur ulang. Fasilitas ini dilengkapi dengan berbagai alat pendukung pengelolaan sampah, seperti mesin pencacah plastik, mesin pengepres manual, serta ruang penyimpanan sementara untuk plastik terpilah. Selain itu, lokasi ini juga memiliki sistem pemilahan yang terorganisir, di mana botol plastik dan galon dipisahkan berdasarkan warna, ukuran, dan jenis materialnya sebelum diproses lebih lanjut.



Gambar 3. Lokasi Penelitian di Sentral Busa, Bantul

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas penggunaan mesin hidrolik pengepres *mobile* di lokasi tersebut. Dengan volume sampah plastik yang cukup besar, penggunaan teknologi modern seperti mesin hidrolik diharapkan dapat meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi waktu pemrosesan. Sampah plastik jenis botol dan galon dipilih sebagai fokus penelitian karena material ini memiliki potensi daur ulang yang tinggi, namun membutuhkan langkah pemadatan yang efisien untuk mengurangi volume sebelum didistribusikan. Kegiatan penelitian mencakup observasi langsung terhadap proses pengolahan sampah plastik, pengukuran kinerja mesin pengepres hidrolik *mobile*, serta wawancara dengan operator dan pengelola bank

sampah. Hasil dari penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan solusi untuk Sentral Busa, tetapi juga dapat diaplikasikan di bank sampah lain dengan permasalahan serupa, sehingga memberikan dampak positif terhadap sistem pengelolaan sampah terpilah di tingkat regional.

2.3. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dirancang untuk mendukung pengujian kinerja mesin hidrolik pengepres sampah *mobile* dalam pengelolaan sampah terpilah. Mesin hidrolik pengepres sampah *mobile* ini merupakan komponen utama dalam penelitian. Mesin dirancang untuk memadatkan sampah plastik terpilah dengan tekanan hidrolik tinggi, sehingga dapat mengurangi volume sampah secara signifikan. Mesin ini dipasang pada kendaraan yang memberikan mobilitas tinggi, memungkinkan proses pengepresan dilakukan langsung di lokasi sumber sampah. Spesifikasi mesin meliputi kapasitas tekanan, dimensi ruang pengepres, serta sistem kontrol hidrolik yang digunakan untuk mengatur siklus operasional. Mesin ini dipilih karena keunggulannya dalam efisiensi pemrosesan sampah dibandingkan metode manual.

Sampah yang digunakan dalam penelitian meliputi berbagai jenis plastik yang umum ditemukan di bank sampah, yaitu: 1) botol plastik minuman berkapasitas kecil hingga sedang, seperti botol air mineral, 2) Sampah plastik berukuran besar, seperti galon air minum isi ulang dan 3) Label pembungkus botol plastik yang biasanya berbahan plastik ringan. *Stopwatch* digunakan untuk mengukur waktu yang dibutuhkan dalam setiap siklus pengepresan, mulai dari pemasukan sampah, proses pemadatan, hingga pengeluaran hasil pengepresan. Alat ini memungkinkan penghitungan durasi kerja secara akurat, sehingga dapat dianalisis efisiensi waktu operasional mesin. Untuk mengukur berat sampah sebelum dan sesudah proses pengepresan, digunakan timbangan digital dengan akurasi tinggi. Data berat sampah digunakan untuk menghitung efisiensi pengepresan dan perbandingan volume sampah sebelum dan sesudah diproses.

Alat tulis digunakan untuk mencatat data hasil pengukuran, seperti waktu operasional, volume sampah, dan parameter kinerja mesin. Kamera digunakan untuk mendokumentasikan proses penelitian, termasuk tahapan pengepresan dan hasil akhir sampah yang telah dipadatkan. Peralatan tambahan, seperti sarung tangan, masker, dan alat kebersihan, digunakan untuk memastikan keamanan dan kebersihan selama proses penelitian. Operator dan peneliti juga dilengkapi dengan alat pelindung diri (APD) untuk mengurangi risiko cedera atau paparan sampah yang berpotensi berbahaya.

2.4. Parameter Pengukuran

Parameter yang akan diukur dalam penelitian ini mencakup aspek teknis dan ekonomis yang relevan

dengan kinerja mesin hidrolik pengepres sampah *mobile*. Kapasitas pengepresan merujuk pada volume dan berat sampah yang dapat diproses oleh mesin dalam satu siklus kerja. Volume sampah sebelum dan sesudah pengepresan, data ini digunakan untuk menghitung tingkat pengurangan volume sampah (*compression ratio*), yang menunjukkan efisiensi mesin dalam memadatkan sampah. Berat sampah yang diproses per siklus, berat sampah yang berhasil dipadatkan oleh mesin dalam satu siklus menjadi indikator kapasitas operasional mesin. Jenis sampah yang dapat diproses seperti botol plastik, galon plastik, dan label botol dianalisis untuk memahami efektivitas mesin terhadap berbagai jenis material plastik.

Waktu operasional mengacu pada durasi yang diperlukan oleh mesin untuk menyelesaikan satu siklus pengepresan, mulai dari pemasukan sampah, proses pengepresan, hingga pengeluaran hasil pengepresan. Efisiensi waktu per siklus, berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk memproses sejumlah sampah tertentu. Total waktu operasional, akumulasi waktu yang dibutuhkan untuk memproses seluruh sampah dalam satu sesi kerja.

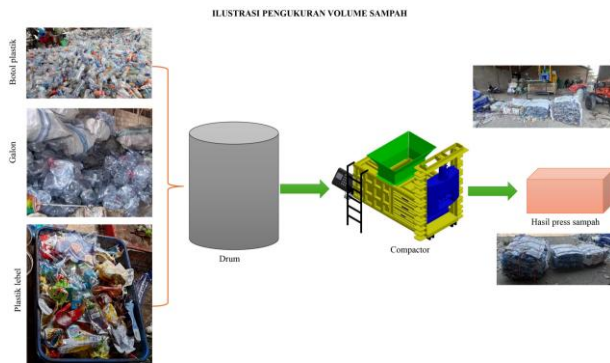
Efisiensi ekonomi mencakup pengaruh penggunaan mesin terhadap biaya operasional dan potensi penghematan. Pengurangan biaya transportasi dengan volume sampah yang lebih kecil setelah pengepresan, biaya transportasi sampah ke tempat daur ulang atau pembuangan akhir dapat dikurangi. Nilai tambah dari sampah padat, sampah yang telah dipadatkan biasanya memiliki nilai jual yang lebih tinggi karena lebih mudah dikelola oleh industri daur ulang.

2.5. Prosedur Penelitian

Pengukuran dalam penelitian ini dilakukan pada tiga jenis sampah utama, yaitu botol plastik, galon, dan label plastik, yang masing-masing mewakili kategori material dengan karakteristik fisik yang berbeda. Setiap jenis sampah diuji dalam tiga siklus pengepresan untuk memastikan konsistensi hasil dan mengurangi potensi bias. Siklus pengepresan melibatkan tahapan memasukkan sampah ke dalam mesin, memulai proses pengepresan dengan sistem hidrolik, dan mengeluarkan hasil pengepresan berupa balok padat. Data yang diperoleh dari setiap siklus meliputi volume sampah sebelum dan sesudah pengepresan, berat sampah, waktu operasional per siklus, dan tingkat pengurangan volume. Hasil dari tiga siklus untuk masing-masing jenis sampah kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan gambaran kinerja mesin secara umum. Pengukuran ini dilakukan dalam kondisi operasional yang seragam untuk memastikan validitas data, seperti menggunakan sampah dengan ukuran dan berat awal yang serupa serta menjaga tekanan hidrolik pada tingkat yang sama di setiap pengujian.

Gambar 4 menggambarkan proses pengukuran volume sampah sebagai bagian dari tahapan

penelitian yang bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi pengepresan sampah menggunakan mesin hidrolik pengepres *mobile*. Ilustrasi ini menunjukkan alur lengkap pengolahan sampah terpilah, mulai dari bahan mentah hingga hasil akhir berupa sampah yang telah dipadatkan. Sampah-sampah yang telah terpilah dimasukkan ke dalam drum untuk mengukur volume awalnya. Drum ini berfungsi sebagai alat pengukuran standar, di mana sampah diisi hingga penuh untuk mencatat volume awal sebelum pengepresan. Penggunaan drum memberikan acuan yang seragam untuk semua jenis sampah yang diuji.



Gambar 4. Ilustrasi Pengukuran Volume Sampah

Sampah yang telah diukur volumenya kemudian diproses menggunakan mesin hidrolik pengepres. Mesin ini dirancang untuk memadatkan sampah dengan tekanan hidrolik tinggi, sehingga mengurangi volume sampah secara signifikan. Mesin ini dapat memproses berbagai jenis sampah plastik dan menghasilkan balok padat yang lebih mudah untuk disimpan atau diangkut. Setelah melalui proses pengepresan, sampah yang sebelumnya memiliki volume besar kini dipadatkan menjadi balok dengan volume yang jauh lebih kecil. Hasil pengepresan ini divisualisasikan di sisi kanan gambar, di mana balok-balok sampah yang telah dipadatkan ditampilkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kapasitas Pengepresan

Mesin hidrolik pengepres sampah *mobile* telah dilakukan uji coba untuk mengevaluasi kinerjanya dalam memadatkan sampah terpilah, khususnya untuk tiga jenis sampah utama: botol plastik, galon plastik, dan label plastik. Uji coba ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas pengepresan mesin, yang mencakup volume awal sampah, volume akhir setelah pengepresan, berat sampah yang diproses, serta tingkat pengurangan volume (*compression ratio*). Tabel 1 menunjukkan data hasil perhitungan kapasitas pengepresan pada botol plastik sebagai salah satu jenis sampah yang diuji. Botol plastik dipilih karena merupakan salah satu limbah domestik yang paling sering ditemukan di masyarakat, memiliki karakteristik ringan tetapi berukuran besar, sehingga membutuhkan proses pemadatan yang efektif untuk mengurangi volume.

Tabel 1. Data Perhitungan Kapasitas Pengepresan pada Botol Plastik (n=3)

Bahan 1: Botol Plastik			
Berat sebelum di press	:	37,0 ± 0,1	kg
Berat sesudah di press	:	36,8 ± 0,4	kg
Persentase pengurangan berat	:	0,54 ± 0,3	%
1 kali press botol plastik seberat 37 kg = 10 drum			
Dimensi drum			
Diameter	:	57 ± 0,1	cm
Tinggi	:	89 ± 0,1	cm
Volume	:	227.107 ± 0,1	cm ³
Dimensi hasil press			
Panjang	:	95 ± 1,4	cm
Lebar	:	80 ± 1,7	cm
Tinggi	:	64 ± 1,1	cm
Volume	:	486.400 ± 1,4	cm ³
Persentase pengurangan volume	:	78,6 ± 1,4	%

Hasil uji coba menunjukkan bahwa mesin hidrolik pengepres sampah *mobile* memiliki kinerja yang sangat baik dalam mengurangi volume botol plastik. Tingkat pengurangan volume mencapai lebih dari 78,6 ± 1,4%, yang berarti bahwa botol plastik yang sebelumnya memerlukan ruang penyimpanan besar kini dapat dipadatkan hingga hanya menyisakan kurang dari seperlima dari volume awalnya. Pengurangan ini sangat signifikan, terutama dalam konteks operasional di bank sampah, di mana kapasitas ruang penyimpanan sering kali menjadi kendala utama. Selain pengurangan volume, uji coba juga mencatat adanya penurunan berat hingga 0,54 ± 0,3% dari berat awal. Meskipun penurunan berat tidak terlalu besar, hal ini menunjukkan bahwa proses pengepresan juga berhasil menghilangkan sisa cairan atau residu yang mungkin terdapat di dalam botol plastik. Pengurangan berat ini tidak hanya memberikan efisiensi tambahan dalam transportasi, tetapi juga memastikan bahwa hasil pengepresan lebih bersih dan siap untuk proses daur ulang.

Tabel 2. Data Perhitungan Kapasitas Pengepresan pada Galon (n=3)

Bahan 2: Galon			
Berat sebelum di press	:	21,0 ± 0,2	kg
Berat sesudah di press	:	20,3 ± 0,5	kg
Persentase pengurangan berat	:	3,19 ± 0,3	%
1 kali press botol plastik seberat 21 kg = 5 drum			
Dimensi drum			
Diameter	:	57 ± 0,1	cm
Tinggi	:	89 ± 0,1	cm
Volume	:	227.107 ± 0,1	cm ³
Dimensi hasil press			
Panjang	:	90 ± 0,5	cm
Lebar	:	72 ± 0,8	cm
Tinggi	:	29 ± 0,3	cm
Volume	:	187.920 ± 0,6	cm ³
Persentase pengurangan volume	:	83,5 ± 0,6	%

Tabel 2 menunjukkan data hasil perhitungan kapasitas pengepresan pada galon plastik, yang merupakan salah satu jenis sampah berukuran besar dan berongga. Hasil pengujian menunjukkan performa mesin hidrolik pengepres dalam menangani galon plastik dengan sangat efektif, terutama dalam hal pengurangan berat dan volume. Penurunan berat galon plastik mencapai 3,19 ± 0,3%, yang merupakan

angka tertinggi dibandingkan dengan jenis sampah lainnya, seperti botol plastik dan label plastik. Penurunan berat yang signifikan ini menunjukkan bahwa mesin tidak hanya memadatkan struktur galon tetapi juga berhasil mengeluarkan sisa cairan atau residu yang sering kali tertinggal di dalamnya. Hal ini memberikan keuntungan tambahan, karena galon yang lebih ringan tidak hanya lebih mudah diangkut tetapi juga lebih siap untuk proses daur ulang tanpa memerlukan pembersihan tambahan.

Dari segi pengurangan volume, galon plastik mencatat angka tertinggi di antara semua jenis sampah yang diuji, dengan tingkat pengurangan volume mencapai $83,5 \pm 0,6\%$. Ini berarti galon plastik yang sebelumnya memakan ruang penyimpanan besar dapat dipadatkan hingga hanya menyisakan 16% dari volume awalnya. Pengurangan ini sangat penting, terutama untuk jenis sampah seperti galon plastik yang biasanya memiliki volume besar tetapi tidak terlalu berat. Dengan pengurangan volume yang drastis, lebih banyak sampah dapat disimpan atau diangkut dalam sekali waktu, sehingga mengurangi kebutuhan frekuensi transportasi. Hasil ini menunjukkan bahwa mesin hidrolik pengepres sangat efektif dalam menangani jenis sampah berbentuk besar seperti galon plastik. Efisiensi dalam pengurangan berat dan volume tidak hanya memberikan manfaat teknis dalam pengelolaan sampah, tetapi juga berdampak langsung pada aspek ekonomi. Dengan sampah yang lebih padat dan ringan, biaya transportasi dapat ditekan secara signifikan, sementara sampah yang telah diproses juga memiliki nilai jual yang lebih tinggi di pasar daur ulang.

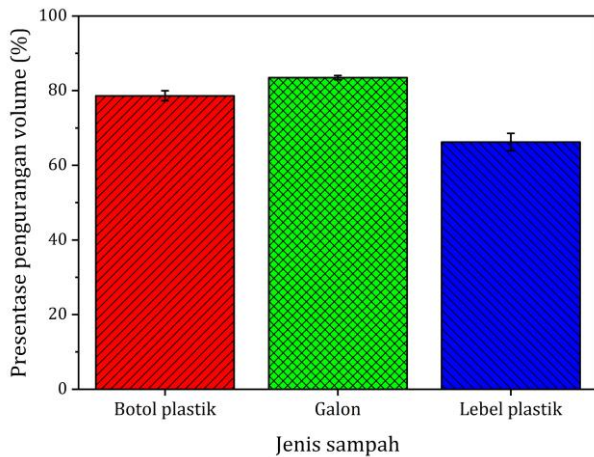
Tabel 3 menunjukkan data hasil perhitungan kapasitas pengepresan pada label plastik, yang merupakan jenis sampah ringan dan fleksibel. Berdasarkan hasil uji coba, label plastik mencatat tingkat pengurangan volume paling rendah dibandingkan dengan jenis sampah lainnya, yaitu sebesar $66,2 \pm 2,4\%$. Hal ini disebabkan oleh karakteristik material label plastik yang tipis dan tidak memiliki banyak ruang udara seperti botol atau galon plastik, sehingga proses pengepresan tidak menghasilkan pengurangan volume yang terlalu signifikan. Namun, tingkat pengurangan volume ini tetap memberikan dampak positif dalam menghemat ruang penyimpanan dan mempermudah pengelolaan sampah. Selain pengurangan volume, hasil uji coba juga menunjukkan adanya pengurangan berat sebesar $0,80 \pm 0,5\%$. Penurunan ini mencerminkan keberhasilan mesin dalam menghilangkan residu, seperti sisa lem atau kotoran, yang biasanya menempel pada label plastik. Walaupun persentase pengurangan berat lebih kecil dibandingkan galon atau botol plastik, hal ini tetap relevan dalam meningkatkan kualitas hasil pengepresan untuk kebutuhan daur ulang.

Tabel 3. Data Perhitungan Kapasitas Pengepresan pada Lebel Plastik (n=3)

Bahan 3: Lebel plastik			
Berat sebelum di press	:	$40 \pm 0,3$	kg
Berat sesudah di press	:	$39,68 \pm 0,6$	kg
Presentase pengurangan berat	:	$0,80 \pm 0,5$	%
1 kali press botol plastik seberat 40 kg = 3 drum			
Dimensi drum			
Diameter	:	$57 \pm 0,1$	cm
Tinggi	:	$89 \pm 0,1$	cm
Volume	:	$227.107 \pm 0,1$	cm ³
Dimensi hasil press			
Panjang	:	$90 \pm 2,1$	cm
Lebar	:	$80 \pm 2,5$	cm
Tinggi	:	$32 \pm 2,6$	cm
Volume	:	$230.400 \pm 2,4$	cm ³
Presentase pengurangan volume	:	$66,2 \pm 2,4$	%

Efisiensi pengurangan volume yang lebih rendah pada label plastik juga disebabkan oleh sifat material yang elastis, sehingga label plastik cenderung lebih sulit dipadatkan secara maksimal. Namun, pengurangan volume sebesar $66,2 \pm 2,4\%$ tetap memberikan kontribusi penting dalam pengelolaan sampah, terutama untuk jenis sampah yang biasanya tidak terlalu diperhatikan dalam proses daur ulang. Dengan hasil pengepresan yang lebih kompak, label plastik menjadi lebih mudah diangkut dan disimpan bersama jenis sampah lainnya. Meskipun tingkat pengurangan volume pada label plastik lebih rendah dibandingkan jenis sampah lainnya, mesin hidrolik pengepres tetap memberikan manfaat dalam hal efisiensi operasional dan konsistensi hasil pengepresan. Proses ini memastikan bahwa sampah ringan seperti label plastik tetap dapat dipadatkan dan dikelola secara efisien, mengurangi dampak visual dari limbah yang sering kali tersebar luas.

Gambar 5 menampilkan grafik yang menggambarkan persentase pengurangan volume pada tiga jenis sampah terpilah, yaitu botol plastik, galon plastik, dan label plastik, setelah diproses menggunakan mesin hidrolik pengepres sampah *mobile*. Grafik ini memberikan wawasan mendalam tentang efisiensi mesin dalam memadatkan sampah berdasarkan karakteristik material masing-masing jenis sampah. Botol plastik mencatat persentase pengurangan volume sebesar $78,6 \pm 1,4\%$, menunjukkan bahwa mesin hidrolik sangat efektif dalam memadatkan botol plastik. Botol plastik, yang memiliki struktur berongga dan cenderung kaku, dapat dimampatkan secara signifikan, mengurangi volume besar ruang yang biasanya dibutuhkan untuk menyimpan jenis sampah ini. Tingkat pengurangan yang tinggi ini menjadikan botol plastik salah satu jenis sampah yang ideal untuk diproses menggunakan mesin ini, terutama dalam konteks pengurangan kebutuhan ruang penyimpanan dan peningkatan efisiensi logistik.



Gambar 5. Grafik Persentase Pengurangan Volume

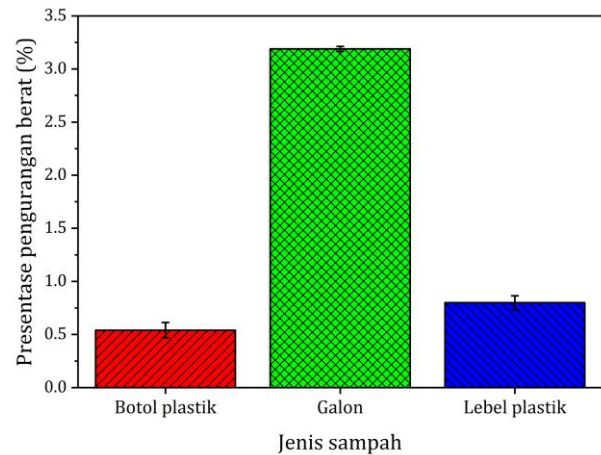
Galon plastik, di sisi lain, mencatat tingkat pengurangan volume tertinggi, yaitu sebesar 84%. Label plastik memiliki tingkat pengurangan volume terendah, yaitu 66%. Tingginya persentase reduksi volume pada galon plastik (84%) dibandingkan label plastik (66%) dapat didistribusikan pada faktor fraksi rongga udara (*void fraction*) awal. Galon memiliki geometri berongga yang dominan, sehingga tekanan hidrolik bekerja efektif untuk mengeluarkan udara dan merusak struktur kaku HDPE hingga mencapai titik luluh (*yield point*).

Sebaliknya, label plastik memiliki karakteristik elastisitas tinggi dan bentuk lembaran yang tipis. Fenomena *spring-back effect* (pemulihan bentuk pasca-tekanan) teramati lebih signifikan pada tumpukan label karena udara yang terperangkap di antara lapisan lembaran sulit dikeluarkan sepenuhnya dibandingkan struktur botol/galon. Hal ini sejalan dengan temuan Singh et al. (N. Singh et al., 2017) mengenai tantangan densifikasi pada material film plastik multilayer.

Perbedaan persentase pengurangan volume antara ketiga jenis sampah ini mencerminkan variasi dalam sifat fisik dan struktur material. Sampah berongga dan kaku, seperti botol dan galon plastik, cenderung lebih mudah dipadatkan karena memiliki lebih banyak ruang udara untuk dihilangkan selama proses pengepresan (Hadi, 2018). Sebaliknya, material tipis dan fleksibel seperti label plastik memiliki volume awal yang lebih kecil, sehingga tingkat pengurangan volume yang dihasilkan oleh mesin relatif lebih rendah (Julianti, 2017).

Gambar 6 menampilkan grafik yang menggambarkan persentase pengurangan berat pada tiga jenis sampah terpilah, yaitu botol plastik, galon plastik, dan label plastik, setelah diproses menggunakan mesin hidrolik pengepres sampah *mobile*. Grafik ini memberikan informasi penting mengenai efektivitas mesin dalam mengurangi berat material melalui proses pengepresan, selain kemampuan utama dalam mengurangi volume. Botol plastik mencatat persentase pengurangan berat

sebesar $0,54 \pm 0,3\%$, yang merupakan nilai terendah di antara ketiga jenis sampah. Hal ini disebabkan oleh sifat botol plastik yang relatif ringan dan kering, dengan sedikit atau tanpa sisa cairan di dalamnya sebelum proses pengepresan. Meskipun begitu, pengurangan berat ini tetap relevan dalam konteks pengelolaan sampah, karena menunjukkan bahwa proses pengepresan berhasil menghilangkan sisa residu atau kotoran yang mungkin terdapat pada material botol.



Gambar 6. Grafik Persentase Pengurangan Berat

Galon plastik, di sisi lain, mencatat tingkat pengurangan berat tertinggi sebesar $3,19 \pm 0,3\%$, menunjukkan efektivitas mesin dalam menangani material yang berukuran besar dan sering kali masih mengandung cairan. Galon plastik yang memiliki ruang udara lebih banyak memungkinkan tekanan hidrolik bekerja secara optimal, sehingga cairan sisa yang tertinggal di dalam galon dapat dikeluarkan selama proses pengepresan. Hasil ini menunjukkan bahwa galon plastik memberikan hasil pengepresan yang paling signifikan baik dari segi pengurangan berat maupun volume (Troughton, 2008).

Label plastik mencatat persentase pengurangan berat sebesar $0,80 \pm 0,5\%$, sedikit lebih tinggi dibandingkan botol plastik. Hal ini disebabkan oleh sifat material label plastik yang ringan tetapi sering kali memiliki residu seperti lem atau kotoran (Kaihatu, 2014). Mesin hidrolik pengepres mampu menghilangkan sebagian residu ini, meskipun tidak sebanyak material yang lebih besar dan berongga seperti galon. Perbedaan dalam pengurangan berat antara ketiga jenis sampah ini mencerminkan variasi karakteristik material. Galon plastik, dengan ukuran besar dan potensi kandungan cairan, cenderung menunjukkan pengurangan berat yang lebih signifikan dibandingkan botol plastik dan label plastik. Material seperti botol dan label, yang ringan dan lebih kering, menghasilkan pengurangan berat yang lebih kecil tetapi tetap relevan dalam meningkatkan kualitas hasil pengepresan (Nadwah, 2024).



Gambar 7. Hasil Sampah Setelah Dipres

Gambar 7 menunjukkan hasil sampah terpilah yang telah diproses menggunakan mesin hidrolik pengepres sampah *mobile*. Tiga jenis sampah yang ditampilkan dalam gambar ini adalah botol plastik, galon plastik, dan label plastik, yang telah dipadatkan menjadi balok-balok padat. Proses pengepresan ini bertujuan untuk mengurangi volume dan berat sampah, sehingga lebih efisien dalam penyimpanan, transportasi, dan pengelolaan di fasilitas daur ulang. Balok hasil pengepresan ini menunjukkan tingkat kepadatan yang tinggi, sehingga lebih hemat ruang penyimpanan dibandingkan botol plastik dalam kondisi aslinya yang berongga (Kougnigan, Mwero, & Mutuku, 2023). Hal ini mempermudah transportasi karena lebih banyak sampah dapat diangkut dalam satu perjalanan.

3.2. Waktu Operasional Pengepresan

Waktu pengepresan dilakukan sebagai parameter penting untuk mengevaluasi efisiensi operasional mesin hidrolik pengepres sampah *mobile*. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas pengepresan mesin dalam satuan kilogram per jam (kg/jam), yang menjadi indikator utama kemampuan mesin dalam menangani berbagai jenis sampah dalam durasi tertentu. Penghitungan waktu operasional ini mencakup durasi mulai dari pemasukan sampah ke mesin, proses pengepresan hingga selesai, dan pengeluaran hasil pengepresan dalam bentuk balok padat. Tabel 4 menunjukkan data waktu pengepresan untuk tiga jenis sampah terpilah, yaitu botol plastik, galon plastik, dan label plastik, masing-masing dengan berat awal 40 kg dalam satu kali proses pengepresan.

Botol plastik membutuhkan waktu pengepresan selama $7 \pm 0,3$ menit per $40 \pm 0,1$ kg, yang menghasilkan kapasitas pengepresan sebesar $343 \pm 0,2$ kg/jam. Durasi ini mencerminkan efisiensi yang cukup baik dalam memproses botol plastik, meskipun material ini memiliki struktur berongga yang memungkinkan tekanan hidrolik bekerja dengan mudah. Kapasitas ini menunjukkan bahwa mesin hidrolik mampu menangani botol plastik dalam jumlah besar dalam waktu yang relatif singkat, menjadikannya solusi efektif untuk jenis sampah yang sering ditemukan di lingkungan domestik maupun komersial. Galon plastik mencatat waktu pengepresan tercepat dibandingkan jenis sampah lainnya, yaitu $5 \pm 0,5$ menit per $40 \pm 0,2$ kg, dengan kapasitas pengepresan mencapai $480 \pm 0,4$ kg/jam. Waktu pengepresan yang lebih singkat ini disebabkan oleh

struktur galon plastik yang besar dan berongga, memungkinkan tekanan hidrolik untuk bekerja lebih efisien. Efisiensi tinggi ini menjadikan mesin hidrolik sangat cocok untuk menangani jenis sampah yang berukuran besar seperti galon plastik, yang biasanya membutuhkan lebih banyak ruang penyimpanan dan memakan waktu lebih lama jika diproses secara manual. Label plastik, di sisi lain, membutuhkan waktu pengepresan paling lama, yaitu $8 \pm 0,8$ menit per $40 \pm 0,4$ kg, yang menghasilkan kapasitas pengepresan sebesar $300 \pm 0,6$ kg/jam. Material label plastik yang tipis dan fleksibel membuatnya lebih sulit untuk dipadatkan secara signifikan dibandingkan material lainnya.

Tabel 4. Data Waktu Pengepresan pada Beberapa Jenis Sampah (n=3)

No	Jenis sampah	Waktu pengepresan (menit)	Berat (kg)	Kapasitas pres (kg/jam)
1	Botol plastik	$7 \pm 0,3$	$40 \pm 0,1$	$343 \pm 0,2$
2	Galon	$5 \pm 0,5$	$40 \pm 0,2$	$480 \pm 0,4$
3	Label plastik	$8 \pm 0,8$	$40 \pm 0,4$	$300 \pm 0,6$

Peningkatan densitas sampah melalui mesin *mobile* ini menawarkan solusi terhadap hambatan utama dalam Logistik Terbalik (*Reverse Logistics*), yaitu inefisiensi biaya transportasi akibat rasio volume-per-berat yang tinggi pada sampah plastik. Dengan mengubah sampah curah menjadi balok padat di titik sumber (bank sampah), teknologi ini mendukung model Desentralisasi Pengelolaan Sampah. Model ini terbukti lebih superior dalam mengurangi jejak karbon transportasi dibandingkan model sentralisasi konvensional di mana sampah bervolume besar harus diangkut jarak jauh ke fasilitas pemrosesan pusat (A. Sinaga, Sinaga, & Sianturi, 2023; Wijaya et al., 2021). Implikasi ekonominya adalah peningkatan margin keuntungan bagi bank sampah, yang krusial untuk keberlanjutan operasional unit usaha berbasis komunitas.

Untuk mengevaluasi efektivitas teknologi yang dikembangkan, kinerja mesin hidrolik *mobile* ini dibandingkan dengan spesifikasi umum mesin press sampah statis (*vertical baler*) yang banyak digunakan di Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST). Perbandingan karakteristik teknis dan operasional disajikan pada Tabel 5.

Berdasarkan Tabel 5, terlihat bahwa mesin press statis memiliki keunggulan dari sisi kapasitas produksi yang jauh lebih besar (hingga 3 kali lipat) dan tekanan yang lebih tinggi, sehingga menghasilkan *bale* (balok sampah) yang lebih padat. Hal ini wajar karena mesin statis didukung oleh struktur fondasi yang kokoh dan suplai daya listrik yang besar. Namun, kelemahan utama sistem statis adalah ketergantungan pada logistik pengangkutan sampah curah (*loose waste*) dari sumber ke lokasi mesin, yang memakan biaya transportasi tinggi karena volume sampah yang besar (botol/galon berongga).

Tabel 5. Perbandingan Karakteristik Mesin *Press Mobile* (Studi Ini) vs. Mesin *Press Statis*

Parameter	Mesin <i>Press Mobile</i> (Studi Ini)	Mesin <i>Press Statis</i> (Konvensional)
Mobilitas	Tinggi (Terintegrasi pada Truk)	Rendah (Permanen/Fixed)
Kapasitas Produksi	300 - 480 kg/jam	800 - 1.500 kg/jam
Tekanan Hidrolik	Menengah (Disesuaikan sasis truk)	Tinggi (20 - 50 Ton)
Sumber Daya	PTO Mesin Truk / Genset Portable	Listrik 3-Fasa (Grid PLN)
Area Layanan	Fleksibel (Sistem Jemput Bola)	Terpusat (Sampah harus diantar)
Investasi Infrastruktur	Rendah (Tidak butuh bangunan khusus)	Tinggi (Butuh lahan & bangunan)

Sebaliknya, mesin *mobile* yang dikembangkan dalam penelitian ini menawarkan keunggulan kompetitif berupa efisiensi logistik. Meskipun kapasitas per jamnya lebih rendah, mesin ini memangkas mata rantai transportasi sampah curah. Mesin dapat mendatangi bank sampah unit yang tersebar (*decentralized*), melakukan pengepresan di tempat, dan hanya mengangkut sampah yang sudah terpadatkan. Pendekatan ini lebih cocok untuk karakteristik bank sampah di Yogyakarta yang lokasinya tersebar di area permukiman dengan akses jalan terbatas.

3.3. Analisis Kuantitatif Dampak Ekonomi

Hasil pada Tabel 6 menunjukkan bahwa dengan pengepresan, volume sampah berkurang signifikan sehingga jumlah rit pengangkutan dapat ditekan dari 3 rit menjadi 1 rit saja. Meskipun dalam operasional riil terdapat variabel lain, secara teoritis potensi penghematan biaya transportasi bisa mencapai lebih dari 25%, bahkan hingga 60% tergantung jarak dan jenis truk. Angka 25% yang disebutkan sebelumnya merupakan estimasi konservatif dengan memperhitungkan biaya operasional mesin.

Tabel 6. Perbandingan Biaya Transportasi Sampah Botol Plastik

Parameter	Tanpa Pengepresan (Curah)	Dengan Mesin <i>Press</i> (Balok)
Total Berat Sampah	1.000 kg	1.000 kg
Volume Sampah (Estimasi)	~18 m ³	~3,8 m ³ (Reduksi ~79%)
Kapasitas Volume Truk	6 m ³	6 m ³
Kebutuhan Ritase (Trips)	3 Rit	1 Rit
Biaya Operasional per Rit	Rp 150.000	Rp 150.000
Total Biaya	Rp 450.000	Rp 150.000
Penghematan	-	66% (Potensi Maksimal)

Penggunaan mesin hidrolik pengepres sampah *mobile* membawa berbagai manfaat signifikan dalam

aspek teknis, ekonomi, dan lingkungan. Salah satu keuntungan utama adalah pengurangan biaya transportasi hingga 25% karena volume sampah yang lebih kecil setelah pengepresan. Volume yang lebih kecil memungkinkan lebih banyak sampah terangkut dalam satu perjalanan, sehingga frekuensi pengangkutan dapat dikurangi. Hal ini tidak hanya mengurangi biaya bahan bakar dan tenaga kerja, tetapi juga menekan emisi karbon yang dihasilkan dari proses transportasi, sehingga memberikan dampak positif terhadap lingkungan (Budi Heri Pirngadie, 2017). Selain itu, hasil pengepresan memiliki nilai jual yang lebih tinggi di pasar daur ulang karena bentuknya yang padat dan seragam. Sampah yang telah dipadatkan lebih mudah ditangani oleh industri daur ulang, karena tidak memerlukan proses tambahan seperti pemadatan manual sebelum diolah lebih lanjut. Misalnya, botol plastik yang telah dipadatkan menjadi balok memiliki densitas lebih tinggi, sehingga efisiensi logistik dalam penyimpanan dan pengangkutan meningkat. Nilai tambah ini membuat bank sampah atau pengelola sampah dapat menjual hasil pengepresan dengan harga yang lebih kompetitif (Purnomo, 2021).

Salah satu beban operasional terbesar bagi Bank Sampah adalah biaya logistik pengangkutan dari unit ke pengepul besar (industri daur ulang). Untuk mengukur dampak ekonomis mesin hidrolik *mobile* ini, dilakukan analisis komparatif biaya transportasi berdasarkan kapasitas angkut truk standar (Pick-up/Truk Ringan volume bak $\pm 6 \text{ m}^3$). Simulasi perhitungan didasarkan pada skenario pengangkutan 1.000 kg (1 ton) botol plastik, dengan asumsi biaya operasional truk (BBM + Driver) sebesar Rp 150.000 per ritase untuk jarak lokal.

Tabel 7. Perbandingan Biaya Transportasi untuk 1 Ton Botol Plastik

Komponen Biaya	Tanpa Pengepresan (Curah)	Dengan Mesin <i>Press</i> (Balok)
Volume Sampah per Ton*	$\pm 25 \text{ m}^3$	$\pm 5,25 \text{ m}^3$
Kapasitas Volume Truk	6 m ³	6 m ³
Kebutuhan Ritase (Trips)	5 Rit (25 ÷ 6)	1 Rit (5,25 ÷ 6)
Biaya per Rit	Rp150,000	Rp150,000
Biaya Tambahan (Solar Mesin)	Rp0	Rp 20.000 (Est. 2 liter)
Total Biaya Operasional	Rp750,000	Rp170,000
Penghematan (<i>Saving</i>)	-	Rp 580.000 (77%)

Dari Tabel 7 terlihat bahwa tanpa pengepresan, dibutuhkan 5 kali perjalanan (rit) untuk mengangkut 1 ton botol plastik karena keterbatasan volume bak truk, bukan karena berat muatan. Dengan penggunaan mesin *press*, volume sampah menyusut drastis sehingga seluruh muatan 1 ton dapat diangkut hanya dalam 1 kali perjalanan. Meskipun terdapat biaya tambahan untuk bahan bakar mesin *press*, total

penghematan biaya operasional mencapai 77%. Selisih margin Rp 580.000 per ton ini menjadi keuntungan langsung (*direct profit*) bagi operasional Bank Sampah, yang memvalidasi tujuan penelitian mengenai efisiensi ekonomi.

Lebih lanjut, dengan efisiensi pengepresan yang ditawarkan oleh mesin ini, pengelola sampah dapat meningkatkan skala operasional mereka tanpa memerlukan penambahan ruang penyimpanan yang signifikan. Sampah yang telah dipadatkan membutuhkan ruang yang jauh lebih kecil, sehingga area penyimpanan yang sebelumnya terbatas dapat digunakan untuk memproses sampah dengan jumlah yang lebih besar. Hal ini memungkinkan bank sampah untuk melayani lebih banyak komunitas atau pelanggan sekaligus meningkatkan pendapatan mereka. Manfaat tambahan lainnya adalah potensi penghematan waktu operasional. Dengan pengepresan yang cepat dan efisien, waktu yang diperlukan untuk mengelola sampah terpilah menjadi lebih singkat, memungkinkan pengelola sampah untuk fokus pada aktivitas lain, seperti edukasi masyarakat atau pengembangan program daur ulang. Kombinasi dari pengurangan biaya transportasi, peningkatan nilai ekonomis sampah, dan efisiensi operasional membuat mesin ini menjadi solusi yang sangat efektif untuk mendukung pengelolaan sampah yang lebih berkelanjutan di berbagai skala (Setyaningsih et al., 2023).

3.4. Keterbatasan Penelitian dan Analisis Sensitivitas Operasional

Meskipun mesin hidrolik *mobile* ini menunjukkan kinerja yang efektif pada sampah terpilah, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dipertimbangkan untuk implementasi skala luas:

a. Sensitivitas terhadap Residu Cairan dan Kotoran

Penelitian ini dilakukan dengan kondisi sampah yang relatif bersih. Namun, pada kondisi riil di lapangan, botol atau galon sering kali masih mengandung sisa cairan (residu). Adanya residu ini dapat menjadi bias dalam pengukuran efisiensi pengurangan berat. Penurunan berat 3,2% pada galon dalam studi ini sebagian besar disebabkan oleh terperasnya sisa cairan, bukan hilangnya massa plastik. Jika residu cairan berlebihan, hal ini tidak hanya mengotori area kerja (truk), tetapi juga berpotensi mempercepat korosi pada pelat penekan mesin jika tidak rutin dibersihkan.

b. Homogenitas Material (Isu Sampah Tercampur)

Mesin ini diuji pada material homogen (100% Botol PET atau 100% Galon HDPE). Analisis sensitivitas teoritis menunjukkan bahwa pencampuran jenis plastik (misalnya botol PET dicampur dengan gelas PP atau kantong kresek LDPE) akan menurunkan stabilitas balok sampah (*bale stability*). Perbedaan *spring-back effect* (gaya balik elastis) antara plastik keras dan lunak dapat menyebabkan ikatan tali pengikat menjadi kendur atau balok pecah saat dikeluarkan. Oleh karena itu,

tahap pemilahan (*pre-sorting*) tetap menjadi prasyarat mutlak agar mesin ini bekerja pada kapasitas optimalnya.

c. Ketergantungan pada Operator Manual

Karena sistem *feeding* (memasukkan sampah) dan pengikatan (*strapping*) masih dilakukan secara manual, waktu siklus (*cycle time*) sangat sensitif terhadap kecekatan operator. Variasi waktu operasional yang tercatat ($SD \pm 0,35$ menit) kemungkinan besar dipengaruhi oleh faktor manusia ini, bukan kinerja hidrolik mesin semata.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa pengembangan mesin hidrolik pengepres sampah *mobile* merupakan solusi rekayasa yang efektif untuk mengatasi inefisiensi logistik pada pengelolaan sampah plastik di tingkat bank sampah unit. Secara teknis, mesin terbukti mampu mereduksi volume sampah berongga secara signifikan, dengan tingkat reduksi tertinggi mencapai $83,5 \pm 0,6\%$ pada galon dan $78,6 \pm 1,4\%$ pada botol plastik, yang berdampak langsung pada peningkatan densitas angkut dan potensi penghematan biaya transportasi dalam skema logistik terbalik (*reverse logistics*).

Kontribusi utama studi ini terletak pada validasi model operasional "jemput bola" berbasis teknologi tepat guna yang mampu mengatasi kendala keterbatasan ruang penyimpanan dan aksesibilitas di area permukiman padat, yang selama ini menjadi hambatan utama bank sampah konvensional. Namun, penelitian ini memiliki keterbatasan terkait sensitivitas kinerja terhadap kebersihan material (residu cairan) dan ketergantungan pada kecepatan operator manual.

Sebagai agenda riset lanjutan, disarankan untuk melakukan studi kelayakan ekonomi jangka panjang (*Cost-Benefit Analysis*), pengembangan sistem *feeding* dan *strapping* otomatis untuk meningkatkan kapasitas produksi, serta eksplorasi integrasi sistem hidrolik dengan sumber energi terbarukan (seperti panel surya pada atap truk) untuk mendukung operasional yang lebih ramah lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Direktorat Akademik Pendidikan Tinggi Vokasi (DAPTV) melalui skema Program Dana Padanan dengan nomor kontrak T/41.2/UN34.9/PT.01.03/2024.

DAFTAR PUSTAKA

Azzahra, G., Rahmadoni, J., Ardelia, S. P., Ananda, S., Luthfiyah, M., Putra, D. R. G., & Sari, A. J. (2024). Strategi Peningkatan Efektivitas Pemanfaatan Limbah Organik Menjadi Pupuk Hayati Di Nagari Balai Tangah Kecamatan Lintau Buo Utara. *Jurnal Hilirisasi IPTEKS*, 7(1), 62-71. doi:10.25077/jhi.v7i1.777

- Budi Heri Pirngadie, D. P. W. K. (2017). Kajian Rute Pengangkutan Sampah Kota Cimahi Dalam Mengantisipasi Pemindahan Lokasi TPA.
- Ekaputra, B. (2024). Perancangan Mesin Press Hidrolik Untuk Mengurangi Kadar Air Sampah Domestik (Studi Kasus di PLTSa Bratang-Surabaya). doi:<http://repository.its.ac.id/id/eprint/107775>
- Hadi, I. S. (2018). *Teknologi Bahan Lanjut*: Penerbit Andi.
- Hermawanto, M. A., Tjahjanti, P. H., & Firmansyah, S. (2023). Pembuatan Dan Pengujian Mesin Pengepres Sampah Anorganik Sistem Ulir. *STPI*, 1(1), 548-558. doi:10.21070/ups.2537
- Julianti, S. (2017). *A Practical Guide to Flexible Packaging*: Gramedia Pustaka Utama.
- Kaihatu, T. S. (2014). *Manajemen Pengemasan*: Penerbit Andi.
- Kougnigan, A. M.-J. N., Mwero, J., & Mutuku, R. (2023). Modeling of Thermal Performance and Mechanical Properties of Concrete Blocks Incorporating Plastic Bottle Waste with Crushed Clay Bricks as Coarse Aggregates. *Cogent Engineering*, 10(2), 2283334. doi:<https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2283334>
- Lubis, D. A., Arifin, A., & Fitrianiingsih, Y. (2022). Pengolahan Sampah Plastik HDPE (High Density Polyethylene) dan PET (Polyethylene Terephthalate) Sebagai Bahan Bakar Alternatif dengan Proses Pirolisis. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(4), 735-742. doi:<https://doi.org/10.14710/jil.20.4.735-742>
- Lupiyanto, R., Hamzah, H. P., & Nurhasanah, N. (2023). Analisis Kelayakan Ekonomi Lingkungan Tps3r Perkotaan (Studi Kasus: Tps3r Kenanga, Kabupaten Sleman, Diy). *Jurnal Education And Development*, 11(3), 287-293. doi:10.37081/ed.v11i3.5467
- Nadwah, N. N. (2024). Evaluasi Pengelolaan Sampah di Kawasan Pantai Mesra dan Pantai Sepanjang Kabupaten Gunungkidul, DI Yogyakarta. doi:[dspace.uui.ac.id/123456789/53418](https://doi.org/10.123456789/53418)
- Purnomo, C. W. (2021). *Solusi pengelolaan sampah Kota*: Ugm Press.
- Putra, R. A., & Wahid, A. (2021). Perancangan dan pembuatan prototipe mesin pengepres hidrolik limbah plastik. *Journal Mechanical and Manufacture Technology (JMMT)*, 2(1), 27-34. doi:<https://doi.org/10.35891/jmmt.v2i1.2478>
- Setyaningsih, E., Purnomo, S. C., Shiddiq, M., Tobing, J. L., Listiyanto, Z., Dhamayanti, K. I., . . . Saputra, H. (2023). *Inovasi Teknologi dan Sosial: Untuk Kinerja Bank Sampah Guna Mendukung Gerakan Yogyakarta Zero Sampah*: Asadel Liamsindo Teknologi.
- Sinaga, A., Sinaga, A. M., & Sianturi, R. A. (2023). DESAIN Arsitektur Virtualisasi Pengembangan Sistem Informasi Manajemen Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Pada Bank Sampah Berbasis Container Docker. *Sebatik*, 27(2), 560-569. doi:<https://doi.org/10.46984/sebatik.v27i2.2405>
- Sinaga, P., Harefa, M. S., Siburian, P. A., & Aisyah, S. (2023). Konsep Penanggulangan Sampah di Wilayah Ekosistem Hutan Mangrove Belawan Sicanang dalam Upaya Pencegahan Pencemaran Lingkungan. *J-CoSE: Journal of Community Service & Empowerment*, 1(1), 1-9. doi:10.58536/j-cose.v1i1.2
- Singh, N., Hui, D., Singh, R., Ahuja, I. P. S., Feo, L., & Fraternali, F. (2017). Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications. *Composites Part B: Engineering*, 115, 409-422. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.09.013>
- Singh, P., & Sharma, V. P. (2016). Integrated plastic waste management: environmental and improved health approaches. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 692-700. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.068>
- Troughton, M. J. (2008). *Handbook of plastics joining: a practical guide*: William Andrew.
- Wijaya, I. M. W., Ranwella, K., Revollo, E. M., Widhiasih, L. K. S., Putra, P. E. D., & Junanta, P. P. (2021). Recycling temple waste into organic incense as temple environment preservation in bali Island. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(2), 365-371. doi:<https://doi.org/10.14710/jil.19.2.365-371>