

Pembuatan Bahan Bakar Alternatif dari Sampah Sayuran Hasil Pertanian menggunakan Alat Distilator di Desa Sampajaya, Kecamatan Berastagi, Kabupaten Karo.

Rivaldi Sidabutar^{1*}, Bambang Trisakti², Irvan³, Muhammad Thoriq Al Fath⁴, Muhammad Hendra Sahputra Ginting⁵, Farida Hanum⁶, Taslim⁷, Rafael Aginta Sitepu⁸, Vandria Alamsyah⁹, Nashfin Nazli Rasyid¹⁰, Juwita Lestari Sinabang¹¹

^{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11} Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia

*Corresponding Author: rivaldi@usu.ac.id

ABSTRAK

Sampah sayuran hasil pertanian yang tidak laku dijual di pasar seringkali membusuk dan akhirnya dibuang begitu saja ke tempat pembuangan akhir, yang meningkatkan volume sampah dan berpotensi menimbulkan masalah lingkungan. Untuk mengatasi permasalahan ini, sampah sayuran dapat diolah menjadi produk yang bermanfaat dan bernilai jual, seperti bioethanol. Bioethanol merupakan sumber energi terbarukan yang diperoleh melalui proses fermentasi biomassa, termasuk sampah sayuran seperti kentang, tomat, wortel, sawi, dan kubis. Dalam program pengabdian ini, dirancang unit pembuatan *e-Bio* dengan kapasitas proses 5 liter yang menggunakan sampah sayuran sebagai bahan baku. Unit ini terdiri dari peralatan pre-treatment, fermentor, dan unit distilator. Peralatan *pre-treatment* meliputi tangki pemasak awal, *crusher*, dan tangki bertekanan. Tangki fermentor dilengkapi dengan dua pengaduk manual tipe paddle dengan diameter 30 cm. Sementara itu, tangki distilasi terbuat dari stainless steel dan dilengkapi dengan heater untuk memanaskan larutan hasil fermentasi serta tangki air pendingin untuk mendinginkan *e-Bio* yang teruapkan. Unit tersebut mencapai efisiensi distilasi sebesar 95% dan tingkat produksi per jam sebesar 0,475 L/jam dengan volume etanol hasil distilasi 0,95 liter dan waktu operasi selama 2 jam. Tujuan dari program ini adalah mengaplikasikan unit pembuatan *e-Bio* dengan memanfaatkan sampah sayuran sebagai bahan baku, meningkatkan penghasilan masyarakat atau petani melalui penjualan *e-Bio*, serta mengurangi dampak lingkungan yang diakibatkan oleh pembuangan sampah sayuran.

Kata kunci: Bioethanol, *e-Bio*, Fermentor, Sampah Sayuran, Unit Distilasi

ABSTRACT

Unsold vegetable waste from agricultural produce often rots and ends up being discarded at landfills, increasing waste volume and potentially causing environmental problems. To address this issue, vegetable waste can be processed into useful and marketable products such as bioethanol. Bioethanol is a renewable energy source obtained through the fermentation of biomass, including vegetable waste such as potatoes, tomatoes, carrots, mustard greens, and cabbage. In this community service program, an e-Bio production unit with a processing capacity of 5 liters has been designed, utilizing vegetable waste as raw material. The unit consists of pre-treatment equipment, a fermenter, and a distillation unit. The pre-treatment equipment includes an initial cooking tank, a crusher, and a pressurized tank. The fermenter tank is equipped with two manual paddle-type agitators with a diameter of 30 cm. Meanwhile, the distillation tank is made of stainless steel and equipped with a heater to heat the fermented solution and a cooling water tank to cool the evaporated e-Bio. The unit achieves a distillation efficiency of 95% with a production rate of 0.475 L/hour, producing 0.95 liters of ethanol after two hours of operation. The goal of this program is to implement the e-Bio production

unit by utilizing vegetable waste as raw material, increase community or farmer income through *e-Bio* sales, and reduce the environmental impact caused by vegetable waste disposal.

Keywords: *Bioethanol, e-Bio, Fermentor, Vegetable Waste, Distillation Unit*

PENDAHULUAN

Krisis bahan bakar minyak (BBM) yang bersumber dari fosil merupakan salah satu tantangan utama dalam bidang energi di dunia, termasuk di Indonesia. Ketergantungan terhadap sumber energi fosil yang tidak terbarukan telah menyebabkan kekhawatiran global terkait keberlanjutan pasokan energi. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk mencari sumber energi alternatif yang terbarukan dan lebih ramah lingkungan. Salah satu alternatif yang menjanjikan adalah bioetanol (*e-Bio*), yang dapat diproduksi dengan biaya yang relatif terjangkau dan memiliki potensi besar untuk menggantikan BBM fosil dalam berbagai aplikasi.

Meskipun berbagai penelitian dan pengembangan telah dilakukan untuk memproduksi *e-Bio* dari berbagai jenis biomassa, hingga saat ini belum ada perancangan unit produksi *e-Bio* yang menggunakan sampah sayuran hasil pertanian sebagai bahan baku utama. Sampah sayuran umumnya dimanfaatkan sebagai pakan ternak atau pupuk kompos, namun pemanfaatan sampah ini untuk produksi *e-Bio* menawarkan peluang yang lebih menjanjikan dan ekonomis. Sampah sayuran memiliki kandungan karbohidrat kompleks, seperti selulosa, hemiselulosa, dan pati yang dapat dihidrolisis menjadi gula sederhana untuk fermentasi bioetanol oleh mikroorganisme. Setelah diolah melalui fermentasi dan distilasi, sampah sayuran memiliki potensi energi yang cukup tinggi. Energi yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang terbarukan. Sampah sayuran merupakan limbah organik yang tersedia dalam jumlah besar, terutama dari pasar tradisional, restoran, dan rumah tangga (Awasthi, M.K., et al. 2017). Menggunakan sampah sayuran dapat mengurangi limbah organik yang berakhir di tempat pembuangan akhir (TPA). Selain mengurangi beban sampah di tempat pembuangan akhir (TPA), produksi *e-Bio* dari sampah sayuran juga memberikan nilai tambah yang signifikan bagi limbah pertanian, serta berpotensi mengurangi dampak lingkungan negatif akibat emisi gas rumah kaca seperti metana yang dihasilkan oleh dekomposisi anaerobik di TPA (Mohan, S.V., et al. 2016).

Dalam merancang unit proses pembuatan *e-Bio* dari sampah sayuran, terdapat beberapa pertimbangan penting yang harus diperhatikan, termasuk pemilihan bahan baku, teknologi proses, konfigurasi, dan ukuran plant yang akan dibangun. Sampah hasil pertanian seperti kentang, wortel, tomat, dan kubis dipilih sebagai bahan baku *e-Bio* untuk memanfaatkan limbah tersebut secara optimal. Desa Sempajaya, Kabupaten Karo, dipilih sebagai lokasi pengembangan karena melimpahnya sampah sayuran yang dihasilkan di daerah tersebut, menjamin ketersediaan bahan baku yang berkesinambungan tanpa mengganggu ketahanan pangan. Selain itu, pendekatan ini diharapkan dapat mengurangi jumlah timbunan sampah di TPA, yang sering kali menjadi sumber berbagai masalah lingkungan. Dengan demikian, pengembangan produksi *e-Bio* dari sampah sayuran tidak hanya menawarkan solusi energi yang berkelanjutan, tetapi juga memberikan dampak positif bagi lingkungan dan perekonomian lokal.

Bioetanol (*E-BIO*)

Bioetanol atau *e-Bio* merupakan senyawa alkohol yang dihasilkan melalui proses fermentasi biomassa dengan bantuan mikroorganisme. Biomassa yang digunakan sebagai bahan baku untuk produksi *e-Bio* dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk bahan bergula, berpati, dan berlignoselulosa. Selain pemanfaatan utamanya sebagai bahan bakar alternatif, *e-Bio* juga memiliki kegunaan lain, seperti bahan baku untuk minuman keras, keperluan medis, pelarut, serta antiseptik dalam produk hand sanitizer. Ketersediaan *e-Bio* yang dapat diperbarui secara berkesinambungan menjadikannya pilihan yang sangat menarik dalam upaya mengurangi ketergantungan pada BBM fosil.

Perkembangan *e-Bio* telah menunjukkan kemajuan yang signifikan. Banyak penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan produksi *e-Bio* dari berbagai bahan baku biomassa di tingkat laboratorium. Bahkan, pabrik-pabrik produksi *e-Bio* dengan bahan baku biomassa telah berdiri di berbagai wilayah. Hal ini menunjukkan bahwa *e-Bio* memiliki potensi besar sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan. Ketersediaan bahan baku biomassa yang melimpah di Indonesia menjadikan *e-Bio* sebagai pilihan yang tepat untuk dikembangkan lebih lanjut dalam skala yang lebih besar, termasuk melalui pembangunan unit produksi *e-Bio* skala prototipe.

Teknologi *e-Bio* dinilai sangat efektif dan berkelanjutan, namun harus dipahami dengan baik oleh masyarakat luas. Oleh karena itu, transfer pengetahuan dan teknologi menjadi kunci untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Inisiatif ini sejalan dengan prioritas dari beberapa tujuan Sustainable Development Goals (SDGs), khususnya tujuan yang berfokus pada kehidupan sehat dan sejahtera, tujuan mengenai pekerjaan layak dan pertumbuhan ekonomi, serta tujuan yang berhubungan dengan industri, inovasi, dan infrastruktur. Solusi yang diusulkan untuk mengatasi permasalahan tersebut, yaitu penerapan unit proses pembuatan bioetanol yang dirancang untuk kemudahan operasional. Metode yang diterapkan mencakup proses pre-treatment, fermentasi dalam tangki fermentor, dan pemurnian dalam tangki distilator.

Pre-Treatment

Pre-treatment untuk pembuatan bioetanol dimulai dengan pengumpulan limbah sayuran dari berbagai sumber, diikuti dengan pembersihan dan persiapan seperti pemotongan dan pencucian. Limbah yang telah dibersihkan kemudian digiling untuk memecah selulosa dan melepaskan gula. Selanjutnya, serbuk sayuran dicampur dengan air, dan campuran ini dipanaskan untuk mempercepat proses pemecahan dan mematikan mikroorganisme yang tidak diinginkan, mempersiapkan bahan baku untuk fermentasi.

Tangki Fermentor

Tangki fermentor adalah tahap di mana campuran bahan baku yang dipersiapkan difermentasi dengan menambahkan enzim atau mikroorganisme. Enzim mengubah selulosa menjadi gula sederhana, lalu mikroorganisme seperti ragi atau bakteri mengubah gula tersebut menjadi bioetanol (*e-Bio*) dan karbon dioksida, dengan tangki dirancang untuk kondisi optimal fermentasi seperti pada tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Kondisi Optimal Fermentasi pada Tangki Fermentor

Parameter	Kondisi Optimal
Mikroorganisme	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> atau lainnya
Suhu	30–35°C
pH	4.5–5.5
Konsentrasi Substrat	10–20% w/v
Waktu Fermentasi	24–72 jam
Aerasi	Anaerobik
Konsentrasi Etanol	Hingga 12–15%

Tangki Distilator

Tangki distilator adalah perangkat kunci dalam proses pemurnian bioetanol (*e-Bio*) setelah fermentasi. Dalam tangki ini, *e-Bio* dipisahkan dari campuran melalui distilasi, yang melibatkan pemanasan campuran untuk menguapkan *e-Bio*, diikuti dengan kondensasi untuk mengumpulkan *e-Bio* dalam bentuk cair. Proses ini efektif memisahkan *e-Bio* dari komponen lain. Setelah distilasi, *e-Bio* yang dihasilkan kemudian dimurnikan lebih lanjut dengan dehidrasi untuk mengurangi kadar air, menghasilkan *e-Bio* yang lebih murni dan siap digunakan sebagai bahan bakar alternatif.

METODE PELAKSANAAN

A. Teknik Pengumpulan Data:

1. Survei Lokasi

Pada tahap awal kegiatan, kami telah melakukan survei awal untuk mendapatkan informasi mengenai kondisi pasca panen hasil pertanian, data ekonomi masyarakat desa, potensi sampah sayuran hasil pertanian, serta layanan publik yang telah diterapkan di Desa Sempajaya, Kabupaten Karo. Dari hasil survei tersebut, kami memperoleh informasi terkait perkembangan kondisi ekonomi masyarakat di sekitar wilayah tersebut.

2. *Focus Group Discussion* (FGD)

Data yang diperoleh akan dibahas bersama perangkat Desa, tim LPPM USU, serta pihak-pihak terkait seperti pengelola, pengguna, dan pemerhati fasilitas pengolahan *e-Bio* melalui teknik *Focus Group Discussion* (FGD) untuk mengidentifikasi masalah yang ada dan menentukan alternatif pemecahan masalah. Berdasarkan hasil FGD, disimpulkan bahwa langkah selanjutnya adalah pengembangan fasilitas, yang meliputi pengembangan teknologi dalam pembuatan *e-Bio*. Ini termasuk menentukan durasi pre-treatment yang optimal, masa fermentasi yang terbaik, dan metode pemurnian yang paling efektif untuk produk *e-Bio*. Selain itu, pelatihan-pelatihan akan dilakukan untuk meningkatkan kualitas sumber daya manusia, produksi, dan pengelolaan fasilitas.

3. Pelaksanaan Kegiatan Pengabdian Masyarakat : Desa Binaan

Melaksanakan kegiatan Pengabdian Masyarakat berupa perancangan unit proses pembuatan *e-Bio*. Adapun kegiatan yang akan dilaksanakan meliputi:

1) Sosialisasi Awal Pelatihan Operasional Unit Proses Pembuatan *e-Bio*

Sosialisasi atau penyuluhan merupakan kegiatan pembelajaran yang bertujuan untuk menyebarkan informasi guna meningkatkan pengetahuan, sikap, dan tindakan masyarakat, terutama petani, peternak, dan pelaku usaha, terkait dengan pertumbuhan ekonomi dan pertanian berkelanjutan. Sosialisasi awal ini dilakukan untuk menjelaskan dan menguraikan kegiatan-kegiatan yang akan dilaksanakan dalam pelatihan berikutnya.

2) Sosialisasi Pasca Awal Pelatihan Operasional Unit Proses Pembuatan *e-Bio*

Setelah diadakan sosialisasi, tahapan kegiatan berikutnya adalah pelatihan. Pelatihan dilakukan oleh tim pelaksana pembangunan, pelatih dan tenaga ahli dari Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Sumatera Utara dengan pendampingan sekaligus narasumber yang berpengalaman. Berbeda dengan sosialisasi sebelumnya, pelatihan ini dilaksanakan dan dipraktekkan secara langsung di area dan seperti biasa diadakan sesi pemaparan, tanya jawab, dan praktek langsung seputar kegiatan yang dilaksanakan selama pelatihan. Pelatihan ini dilaksanakan selama dua hari.

3) Tahapan Proses Pembuatan *e-Bio* dari Limbah Sayuran

• Pengumpulan Limbah Sayuran

Langkah pertama adalah mengumpulkan limbah sayuran dari sumber-sumber seperti petani, pasar, atau rumah tangga. Limbah sayuran ini bisa berupa bagian-bagian yang tidak terpakai dari sayuran, seperti daun, batang, atau sisa-sisa sayuran yang tidak terjual.

• Pembersihan dan Persiapan

Limbah sayuran yang dikumpulkan kemudian dibersihkan dan dipersiapkan untuk proses selanjutnya. Ini bisa termasuk pemotongan, pencucian, dan pengeringan untuk menghilangkan kotoran dan bahan organik lainnya.

• Penggilingan

Limbah sayuran yang telah dipersiapkan kemudian digiling untuk memecah material selulosa dan membebaskan gula yang terikat di dalamnya. Ini mempermudah proses fermentasi.

• Pencampuran dengan Air

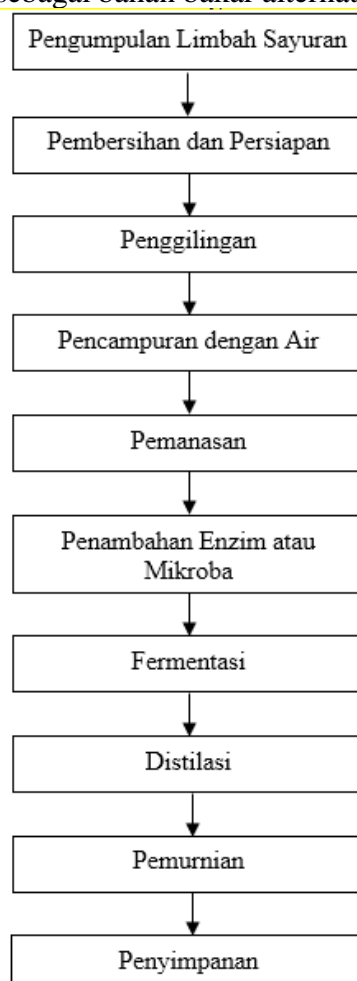
Serbuk sayuran yang telah digiling dicampur dengan air untuk membentuk campuran yang dikenal sebagai "bahan baku fermentasi".

• Pemanasan

Campuran bahan baku dan air dipanaskan untuk mempercepat proses pemecahan selanjutnya dan mematikan mikroorganisme yang tidak diinginkan.

- **Penambahan Enzim atau Mikroba**
Dalam beberapa proses, enzim atau mikroorganisme tambahan ditambahkan ke dalam campuran untuk membantu dalam proses fermentasi. Enzim selulase dan hemiselulase untuk menghidrolisis selulosa menjadi gula sederhana yang dapat difermentasi.
- **Fermentasi**
Campuran bahan baku yang telah dipersiapkan kemudian difermentasi menggunakan mikroorganisme seperti ragi atau bakteri. Mikroorganisme tersebut mengubah gula sederhana yang dihasilkan dari limbah sayuran menjadi bioetanol (*e-Bio*) dan karbon dioksida. Fermentasi dapat dilakukan dengan menggunakan mikroorganisme ragi *Saccharomyces cerevisiae*; suhu fermentasi bioetanol sekitar 30–35°C; pH 4.5-5.5; waktu fermentasi 48-72 jam; dan dalam keadaan anaerobik.
- **Distilasi**
e-Bio yang dihasilkan dari fermentasi dipisahkan dari campuran menggunakan proses distilasi dengan waktu operasi selama 2 jam. Ini melibatkan penguapan dan kondensasi untuk memisahkan *e-Bio* dari komponen lain dalam campuran.
- **Pemurnian**
e-Bio hasil distilasi dapat dimurnikan lebih lanjut dengan proses seperti dehidrasi untuk menghilangkan kadar air yang tinggi.
- **Penyimpanan**
e-Bio yang telah dimurnikan disimpan dalam tangki penyimpanan sebelum dijual atau digunakan sebagai bahan bakar alternatif.

Diagram Proses Pembuatan *E-Bio* sebagai bahan bakar alternatif



B. Teknik Pengolahan dan Analisis Data

Teknik pengolahan dan analisis data yang telah digunakan merupakan teknik kualitatif yaitu sebagai berikut:

1. Reduksi data, data diambil dari hasil wawancara dan observasi kepada mitra. Selanjutnya data tersebut dipilih dan dikategorikan sesuai dengan kebutuhan.
2. Penyajian data, data yang telah dipilih dan dikategorikan selanjutnya akan disajikan dalam bentuk naratif, bentuk matriks, grafik, bagan, dan lain- lain.
3. Menarik kesimpulan, kesimpulan dibuat dalam bentuk informasi-informasi yang diperlukan serta dibuat dengan menggunakan bahasa yang mudah dimengerti.

C. Teknik Pelatihan

Pelatihan dan penyuluhan dilakukan oleh tim pelaksana pembangunan, pelatih dan tenaga ahli dari Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Sumatera Utara dengan didampingi oleh narasumber yang berpengalaman. Pelatihan ini juga dilaksanakan dan dipraktekkan secara langsung di area dan dibagi menjadi beberapa sesi, yaitu sesi pemaparan, tanya jawab, dan praktek langsung dari alat yang telah dibawa oleh tim pengabdian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Desain dan Pabrikasi Unit Proses Pembuatan *e-Bio*

Desain dan Pabrikasi unit proses pembuatan *e-Bio* dilaksanakan di Laboratorium Ekologi, Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara. Kegiatan ini dilakukan pada minggu ke-2 sampai minggu ke-3 bulan Mei 2024. Unit proses pembuatan *e-Bio* yang dirancang memiliki kapasitas 5 liter per jam dengan daya 220V dan konsumsi 4000 watt. Alat ini menggunakan metode kondensasi air, dengan evaporator dan kondensor yang terbuat dari stainless steel untuk memastikan daya tahan dan kemudahan pembersihan. Tabung pemanas stainless steel memberikan pemanasan yang stabil dan efisien, sementara perangkat keselamatan termasuk alarm kekurangan air dan pemutus daya otomatis melindungi alat dari kerusakan akibat kekurangan air. Sistem pemulihan air yang ada membantu mengurangi limbah dan biaya operasional dengan mendaur ulang air yang digunakan. Keunggulan dari alat ini meliputi efisiensi energi yang tinggi, karena penggunaan listrik memungkinkan kontrol suhu yang presisi dan pemanasan yang lebih cepat dibandingkan dengan sumber panas eksternal. Suhu yang konstan selama proses distilasi sangat penting untuk memisahkan komponen dengan titik didih yang dekat, mencegah kerusakan bahan, dan memastikan produk akhir yang lebih murni. Selain itu, alat ini dilengkapi dengan drum fermentasi untuk proses fermentasi, memastikan bahwa semua unit proses beroperasi secara normal dan efisien. Adapun dokumentasi selama proses pengerjaan alat pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain dan Pabrikasi Unit Proses Pembuatan *e-Bio*

Proses pembuatan bioetanol dari sampah sayuran menggunakan alat distilator yang selesai dirancang di desa sempajaya melibatkan beberapa tahap penting. Pertama, sampah sayuran dikumpulkan dan dibersihkan untuk menghilangkan kotoran dan bahan yang tidak diinginkan. Selanjutnya, sampah tersebut dihancurkan menjadi ukuran yang lebih kecil untuk meningkatkan

efisiensi fermentasi. Setelah itu, bahan hancur dicampurkan dengan air dan ditambahkan ragi untuk memulai proses fermentasi, di mana gula dalam sayuran diubah menjadi etanol. Setelah fermentasi selesai, campuran tersebut dipanaskan dalam alat distilator. Proses distilasi memisahkan etanol dari campuran, menghasilkan bioetanol yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan alat distilator di desa sempajaya efektif dalam meningkatkan rendemen bioetanol dari sampah sayuran, serta memberikan solusi berkelanjutan untuk pengelolaan limbah.

Sampah sayuran yang digunakan, seperti sayur sisa dan kulit buah, menghasilkan rendemen bioetanol rata-rata sebesar 8-12% dari total berat bahan baku. Proses fermentasi berlangsung selama 48-72 jam, di mana kadar alkohol tertinggi tercatat mencapai 12% setelah distilasi. Pembuatan *e-Bio* dengan volume etanol yang dihasilkan dari 5 kg sampah sayuran mencapai 0,95 liter dan waktu destilasi selama 2 jam menghasilkan tingkat produksi per kg bahan sebesar 0,19 L/kg dan tingkat produksi per jam sebesar 0,475 L/jam. Efisiensi fermentasi melalui tahap fermentasi sebesar 85%. Selain itu, penggunaan alat distilator menghasilkan pemisahan etanol (efisiensi distilasi) dengan kemurnian 95%, yang memenuhi standar biofuel. Efisiensi distilasi dihitung berdasarkan perbandingan volume etanol yang dihasilkan dengan potensi maksimum teoritis, menunjukkan efektivitas reaktor dengan menggabungkan efisiensi fermentasi dan distilasi mencapai 80,75%. Kapasitas desain dari unit proses pembuatan *e-Bio* sebesar 5 liter dan efisiensi distilasi dari proses yang dilakukan sebesar 95%, maka didapatkan kapasitas aktual dari unit tersebut sebesar 4,75 liter. Data ini dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah sayuran tidak hanya mengurangi volume sampah tetapi juga memproduksi sumber energi yang berkelanjutan, sehingga memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut dalam skala industri.

$$\text{Tingkat produksi per jam} = \frac{\text{Volume etanol yang dihasilkan}}{\text{Waktu operasi}}$$

$$\text{Tingkat produksi per jam} = \frac{0,95}{2} = 0,475 \text{ L/jam}$$

$$\text{Tingkat produksi per kg bahan} = \frac{\text{Volume etanol yang dihasilkan}}{\text{Berat bahan baku}}$$

$$\text{Tingkat produksi per kg bahan} = \frac{0,95}{5} = 0,19 \text{ L/kg}$$

$$\text{Efisiensi distilasi (\%)} = \left(\frac{\text{Volume etanol yang dihasilkan}}{\text{Volume etanol teoritis}} \right) \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi distilasi (\%)} = \left(\frac{0,95}{1} \right) \times 100\% = 95\%$$

$$\text{Efektivitas Reaktor (\%)} = \text{Efisiensi distilasi} \times \text{efisiensi fermentasi} \times 100\%$$

$$\text{Efektivitas Reaktor (\%)} = 0,95 \times 0,85 \times 100\% = 80,75\%$$

$$\text{Kapasitas aktual} = \text{Kapasitas desain} \times \text{Efisiensi distilasi}$$

$$\text{Kapasitas aktual} = 5 \text{ Liter} \times 0,95 = 4,75$$

B. Sosialisasi dan Pelatihan Operasional

Pelatihan dilakukan sebagai sosialisasi penggunaan unit proses pembuatan *e-Bio*. Pelatihan yang akan dilaksanakan terbagi menjadi dua, yaitu yang pertama sosialisasi atau penyuluhan yang dilakukan untuk memberikan informasi sehingga dapat meningkatkan pengetahuan masyarakat terhadap unit proses pembuatan *e-Bio*. Setelah selesai pemaparan materi mengenai unit proses pembuatan *e-Bio*, maka tahap selanjutnya, yaitu praktek langsung penggunaan unit proses pembuatan

e-Bio untuk mengaplikasikan unit pembuatan *e-Bio* dengan memanfaatkan sampah sayuran sebagai bahan baku yang telah dipersiapkan oleh warga setempat, sosialisasi dan pelatihan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sosialisasi Pengabdian Unit Proses Pembuatan *e-Bio*

Sosialisasi dan pelatihan dilakukan langsung oleh tim LPPM dari Universitas Sumatera Utara dengan masyarakat di Desa Sempajaya. Acara ini bersifat terbuka, sehingga masyarakat dapat melihat langsung proses pengolahan biogas, seperti yang digambarkan pada Gambar 3. Pendekatan ini menimbulkan ketertarikan dan partisipasi aktif dari masyarakat selama



Gambar 3. Partisipasi Aktif dari Masyarakat Selama Pelatihan

kegiatan berlangsung, sehingga menumbuhkan kesadaran akan potensi limbah sayuran. Acara diakhiri dengan sesi foto bersama, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Foto Bersama Mitra dan Tim LPPM USU

Program ini dipandang sangat efektif karena melimpahnya bahan baku di daerah tersebut. Dengan bimbingan dari tim USU, diharapkan warga dapat mengubah limbah sayuran pertanian menjadi produk yang bernilai, sehingga dapat meningkatkan pengetahuan lokal dan ekonomi, serta mengurangi limbah yang sebelumnya tidak termanfaatkan.

Hasil *Focus Group Discussion* (FGD) menunjukkan bahwa masyarakat memberikan respon positif terhadap proses pembuatan bioetanol dari sampah sayuran menggunakan alat distilator. Mayoritas peserta menyatakan kepuasan terhadap inovasi ini, terutama karena memberikan solusi bagi pengelolaan limbah organik yang berkelanjutan sekaligus menghasilkan produk bernilai ekonomis, yaitu bioetanol. Beberapa peserta juga mengapresiasi kesederhanaan alat distilator yang memungkinkan proses ini diterapkan pada skala rumah tangga atau komunitas.

SIMPULAN

Program pengabdian kepada masyarakat telah dilaksanakan dengan baik mulai dari survei lokasi, kegiatan FGD, hingga kegiatan sosialisasi dan pelatihan. Program penyuluhan dan pelatihan dapat dilaksanakan baik dikarenakan adanya antusias para mitra yang tertarik akan wawasan baru dalam mengatasi permasalahan pengelolaan limbah pertanian dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, dimana dalam kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini produksi *e-Bio* melibatkan beberapa tahapan kritis, termasuk *pre-treatment*, fermentasi, dan distilasi, yang memerlukan peralatan khusus dan pemahaman teknis yang mendalam. Diharapkan program ini dapat terus dikembangkan dan dapat dijadikan teknologi yang tidak hanya memberikan manfaat lingkungan dengan mengurangi pencemaran dan emisi gas rumah kaca, tetapi juga menyediakan alternatif bahan bakar yang ramah lingkungan di Desa Sempajaya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari 5 kg sampah sayuran, diperoleh 0,95 liter bioetanol dengan rendemen rata-rata sebesar 8-12%, serta tingkat produksi mencapai 0,475 L/jam. Proses fermentasi mencapai efisiensi 85%, sementara efisiensi distilasi tercatat sebesar 95%, menghasilkan produk dengan kemurnian yang memenuhi standar biofuel. Efisiensi keseluruhan dari proses ini adalah 80,75%, yang menunjukkan efektivitas penggunaan alat distilator dan optimasi proses produksi.

Keberhasilan unit proses pembuatan *e-Bio* ini tidak hanya meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan sampah sayuran, tetapi juga menghasilkan bioetanol sebagai sumber energi alternatif yang berkelanjutan. Dengan kapasitas desain unit sebesar 5 liter per jam, alat ini memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut dalam skala industri, memberikan solusi untuk pengurangan sampah dan pemanfaatan limbah menjadi energi yang ramah lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu pelaksanaan dan penulisan artikel ini :

LPPM Universitas Sumatera Utara atas dukungan dana untuk tahun anggaran No.262/UN5.4.11.K/Kontrak/PPM/2024 tanggal 07 Mei 2024.

Pihak Mitra Kepala Desa Sempajaya dan Masyarakat setempat yang mendukung program pengabdian Masyarakat ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Republik Indonesia. (2006). *Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional*. Lembaran Negara RI Tahun 2006. Sekretariat Negara.
- Komarayati, S., & Gusmailina. (2010). Prospek bioetanol sebagai pengganti minyak tanah. *Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2009). *Etanol Nabati*. (SNI 3565:2009).
- Adeyani, N. P., Agustin, W., Absor, M. U., Broto, R. T. W., Arifan, F., & Yudanto, Y. A. (2022). Studi: Potensi bioetanol limbah nasi putih, metode efektif dalam produksi bioetanol, potensi Aloe Vera sebagai antiseptik dan efektivitas hand sanitizer. *Pentana: Jurnal Penelitian Terapan Kimia*, 1(1), 6-14.
- Awasthi, M. K., Singh, L., & Pandey, A. K. (2017). Vegetable waste as an organic waste available in large quantities, particularly from traditional markets, restaurants, and households. *Journal of Environmental Management*, 204, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.020>
- Guritno, B., Argo, B. D., & Yulianingsih, R. (2011). Desain unit pengolahan bioetanol untuk petani di Desa Ngajum Kecamatan Sumber Pucung Kabupaten Malang. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 2(1), 83-91.
- Rahmat, B., Cahrial, E., & Rofatin, B. (2012). Rancang-bangun alat produksi bioetanol. (Hibah Penelitian, Program Studi Agroekoteknologi, Universitas Siliwangi).
- Wooley, R., Ruth, M., Glassner, D., & Sheehan, J. (1999). Process design and costing of bioethanol technology: A tool for determining the status and direction of research and development. *Biotechnology Progress*, 15(5), 794-795. <https://doi.org/10.1021/bp990107u>
- Perdana, D. A. (2011). Kajian tekno ekonomi perancangan proses produksi bioetanol dari limbah tanaman jagung. (Skripsi, Program Sarjana Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor).
- Taherzadeh, M. J., & Karimi, K. (2009). Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 9(9), 1621-1651. <https://doi.org/10.3390/ijms9091621>
- Mohan, S. V., Reddy, P. K., & Sreekanth, P. (2016). Production of bioethanol from vegetable waste and its potential to reduce environmental impact from greenhouse gas emissions, such as methane, produced by anaerobic decomposition in landfills. *Renewable Energy*, 91, 387-396. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.01.036>
- Khavita, R., & Pharm, M. (2014). The design of fermenter. *Department of Pharmaceutics, Sri Ramaswamy Memorial University, New Delhi, India*.