

Pengembangan Sistem Penyulingan Bahan Bakar Bioetanol dari Sampah Organik Pertanian di Desa Sempajaya, Kecamatan Berastagi, Kabupaten Karo

Rivaldi Sidabutar^{1*}, Bambang Trisakti¹, Irvan¹, Farida Hanum¹, Indra Surya¹, Taslim¹, Mersi Suriani Sinaga¹, Muhammad Rafly Rizky¹, Lusti Angelica Sitepu¹, Muhammad Fadhilah Juniansyah¹, M. Faiz Abdurrahman¹, Wahyu Pramudya Syafutra¹, Daniel S Marbun¹

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Indonesia

**Corresponding Author: rivaldi@usu.ac.id*

ABSTRAK

Sampah sayuran hasil pertanian yang tidak terjual di pasar umumnya membusuk dan berakhir di tempat pembuangan akhir, sehingga meningkatkan volume sampah sekaligus menimbulkan permasalahan lingkungan. Upaya pemanfaatan sampah sayuran sebagai bahan baku bioetanol menjadi alternatif yang potensial, mengingat bioetanol merupakan energi terbarukan yang dapat diproduksi melalui proses fermentasi biomassa. Dalam penelitian ini dirancang unit produksi bioetanol berkapasitas 15 liter dengan memanfaatkan berbagai jenis sampah sayuran, seperti kentang, nanas, wortel, sawi, dan kubis. Unit proses terdiri atas peralatan pre-treatment (tangki pemasak awal, crusher, dan tangki bertekanan), fermentor yang dilengkapi dua pengaduk manual tipe paddle berdiameter 30 cm, serta unit distilasi berbahan stainless steel yang dipasang heater dan tangki pendingin. Proses fermentasi berlangsung selama 48–72 jam dan menghasilkan bioetanol dengan konsentrasi 45%. Program ini diharapkan mampu memberikan manfaat ganda, yaitu sebagai solusi pengelolaan limbah sayuran untuk mengurangi dampak lingkungan serta sebagai sumber tambahan penghasilan masyarakat melalui pemanfaatan bioetanol yang dihasilkan.

Kata kunci: Bioetanol, Fermentor, Sampah Sayuran, Unit Distilasi

ABSTRACT

Unsold vegetable waste from agricultural products generally rots and ends up in landfills, increasing waste volume and creating environmental problems. Utilizing vegetable waste as a raw material for bioethanol is a potential alternative, considering that bioethanol is a renewable energy source that can be produced through a biomass fermentation process. This study designed a 15 liter bioethanol production unit utilizing various types of vegetable waste, such as potatoes, pineapples, carrots, mustard greens, and cabbage. The process unit consists of pre-treatment equipment (a pre-cooking tank, a crusher, and a pressure tank), a fermenter equipped with two 30 cm diameter paddle-type manual stirrers, and a stainless steel distillation unit equipped with a heater and cooling tank. The fermentation process lasts for 48–72 hours and produces bioethanol with a concentration of 45%. This program is expected to provide dual benefits: as a solution for vegetable waste management to reduce environmental impacts and as a source of additional income for the community through the utilization of the bioethanol produced.

Keywords: Bioethanol, Distillation Unit, Fermentor, Vegetable Waste

PENDAHULUAN

Krisis bahan bakar minyak (BBM) fosil masih menjadi persoalan energi global, termasuk di Indonesia. Ketergantungan terhadap energi fosil yang tidak terbarukan menimbulkan kekhawatiran mengenai keberlanjutan pasokan energi di masa depan (Komarayati et al., 2011; IEA, 2020). Oleh karena itu, diperlukan pengembangan sumber energi alternatif yang bersifat terbarukan dan ramah lingkungan (Republik Indonesia, 2006). Bioetanol menjadi salah satu opsi menjanjikan karena dapat diproduksi dengan biaya relatif rendah serta memiliki potensi besar untuk menggantikan BBM fosil

pada berbagai aplikasi (Mussatto et al., 2010).

Meskipun bioetanol telah banyak diteliti dari berbagai sumber biomassa, pemanfaatan sampah sayuran sebagai bahan baku utama masih jarang dilakukan. Selama ini, sampah sayuran pertanian lebih sering digunakan sebagai pakan ternak atau kompos, padahal konversinya menjadi bioetanol menawarkan nilai ekonomi yang lebih tinggi (Sun & Cheng, 2002). Pendekatan ini tidak hanya mengurangi volume sampah di tempat pembuangan akhir (TPA), tetapi juga meningkatkan pemanfaatan limbah pertanian dan menekan dampak lingkungan (Alvira et al., 2010). Dalam perancangan unit produksi bioetanol, aspek penting yang diperhatikan meliputi pemilihan bahan baku, teknologi proses, konfigurasi, dan kapasitas unit (Khavita & Pharm, 2014). Pada penelitian ini, kentang, nanas, sawi, dan kubis dipilih sebagai bahan baku karena ketersediaannya melimpah, khususnya di Desa Sempajaya, Kabupaten Karo. Lokasi tersebut dinilai strategis karena kontinuitas pasokan limbah pertanian dapat terjamin tanpa mengganggu ketahanan pangan. Dengan demikian, pengembangan bioetanol dari sampah sayuran tidak hanya menyediakan energi terbarukan, tetapi juga memberikan manfaat lingkungan sekaligus memperkuat perekonomian lokal (Lin dan Tanaka, 2006; Republik Indonesia, 2006).

Bioetanol

Bioetanol adalah cairan biokimia yang didapat melalui proses fermentasi gula dari sumber karbohidrat (pati), selulosa dan glukosa menggunakan bantuan mikroorganisme (Herawati, 2021). Produksi bioetanol dari biomassa lignoselulosa, pati, maupun karbohidrat dilakukan melalui proses konversi karbohidrat menjadi glukosa. Pada biomassa lignoselulosa, termasuk sampah sayuran, komposisi utamanya terdiri atas selulosa (35–50%), hemiselulosa (20–35%), dan lignin (10–25%), yang menentukan efisiensi hidrolisis dan fermentasi (Sun & Cheng, 2002). Proses ini umumnya melibatkan tahapan *pre-treatment* untuk merusak struktur lignoselulosa, hidrolisis enzimatis atau kimia untuk menghasilkan gula sederhana, kemudian fermentasi oleh mikroorganisme seperti *Saccharomyces cerevisiae* untuk menghasilkan etanol (Alvira et al., 2010). Selain berfungsi sebagai bahan bakar alternatif, bioetanol juga digunakan sebagai bahan baku industri minuman beralkohol, produk medis, pelarut kimia, serta antiseptik pada hand sanitizer (Adeyani et al., 2022). Ketersediaannya yang dapat diperbarui secara berkelanjutan menjadikan bioetanol sebagai opsi strategis untuk mengurangi ketergantungan terhadap BBM fosil, sekaligus mendukung transisi energi bersih (Komarayati et al., 2011).

Perkembangan bioetanol menunjukkan kemajuan yang pesat, ditandai dengan banyaknya penelitian mengenai produksi bioetanol dari berbagai sumber biomassa di tingkat laboratorium hingga berdirinya pabrik produksi berskala industri (Wooley et al., 1999). Fakta ini menegaskan bahwa bioetanol memiliki prospek besar sebagai bahan bakar alternatif ramah lingkungan (Lin & Tanaka, 2006). Di Indonesia, ketersediaan biomassa yang melimpah menjadikan bioetanol layak dikembangkan dalam skala lebih luas, termasuk melalui perancangan unit produksi berskala *prototipe* (Budi Rahmat et al., 2012).

Teknologi bioetanol dinilai sangat efektif dan berkelanjutan, namun harus dipahami dengan baik oleh masyarakat luas (Chandel et al., 2007). Oleh karena itu, transfer pengetahuan dan teknologi menjadi aspek penting untuk mendukung peningkatan kesejahteraan masyarakat. Upaya ini sejalan dengan beberapa prioritas *Sustainable Development Goals* (SDGs), terutama pada tujuan kesehatan dan kesejahteraan, pekerjaan layak dan pertumbuhan ekonomi, serta industri, inovasi, dan infrastruktur. Sebagai solusi, dirancang unit proses produksi bioetanol yang mudah dioperasikan dengan tahapan meliputi *pre-treatment*, fermentasi menggunakan tangki fermentor, dan pemurnian melalui tangki distilasi (Khavita & Pharm, 2014).

Pre-Treatment

Tahap *pre-treatment* dalam produksi bioetanol diawali dengan pengumpulan limbah sayuran dari berbagai sumber, yang kemudian melalui proses pembersihan dan preparasi (pencucian dan pemotongan). Limbah yang telah dibersihkan selanjutnya digiling untuk menghancurkan struktur selulosa dan mempermudah pelepasan gula. Tahap berikutnya melibatkan pencampuran bubuk

sayuran dengan air, yang kemudian dipanaskan. Proses pemanasan ini berfungsi untuk mengoptimalkan pemecahan material sekaligus mensterilkan campuran dari mikroorganisme pengganggu, sehingga bahan baku siap untuk memasuki tahap fermentasi (Chandel et al., 2007). Secara teoritis, *pre-treatment* merupakan tahapan penting untuk meningkatkan ketersediaan fraksi selulosa dan hemiselulosa yang dapat dihidrolisis menjadi gula sederhana (Taherzadeh & Keikhsro, 2008), dengan cara mengurangi kandungan lignin dan mengubah struktur kristalin selulosa (Heriwati et al., 2021). Metode yang umum digunakan meliputi *physical pre-treatment* (penggilingan, pemanasan, ultrasonikasi), *chemical pre-treatment* (asam, basa, ozon, atau pelarut organik), serta *biological pre-treatment* menggunakan enzim atau mikroorganisme ligninolitik (Mosier et al., 2005; Sun and Cheng, 2002). Pemilihan metode yang tepat sangat menentukan rendemen bioetanol, karena setiap jenis biomassa memiliki komposisi lignoselulosa yang berbeda (Alvira et al., 2010).

Tangki Distilator

Tangki distilator adalah perangkat kunci dalam proses pemurnian bioetanol setelah fermentasi. Dalam tangki ini, bioetanol dipisahkan dari campuran melalui distilasi, yang melibatkan pemanasan campuran untuk menguapkan bioetanol, diikuti dengan kondensasi untuk mengumpulkan bioetanol dalam bentuk cair (Woolley et al., 1999; Budi Rahmat et al., 2012). Distilasi memungkinkan pemisahan bioetanol dari air serta senyawa pengotor lain, meskipun secara konvensional hanya mampu menghasilkan etanol dengan kemurnian sekitar 95,6% akibat terbentuknya azeotrop etanol-air (Liu dan Wu 2019). Proses ini efektif memisahkan bioetanol dari komponen lain. Setelah distilasi, bioetanol yang dihasilkan kemudian dimurnikan lebih lanjut dengan dehidrasi untuk mengurangi kadar air, menghasilkan bioetanol yang lebih murni dan siap digunakan sebagai bahan bakar alternatif, menghasilkan bioetanol yang lebih murni dan siap digunakan sebagai bahan bakar alternatif (Wooley et al., 1999)

Tangki Fermentor

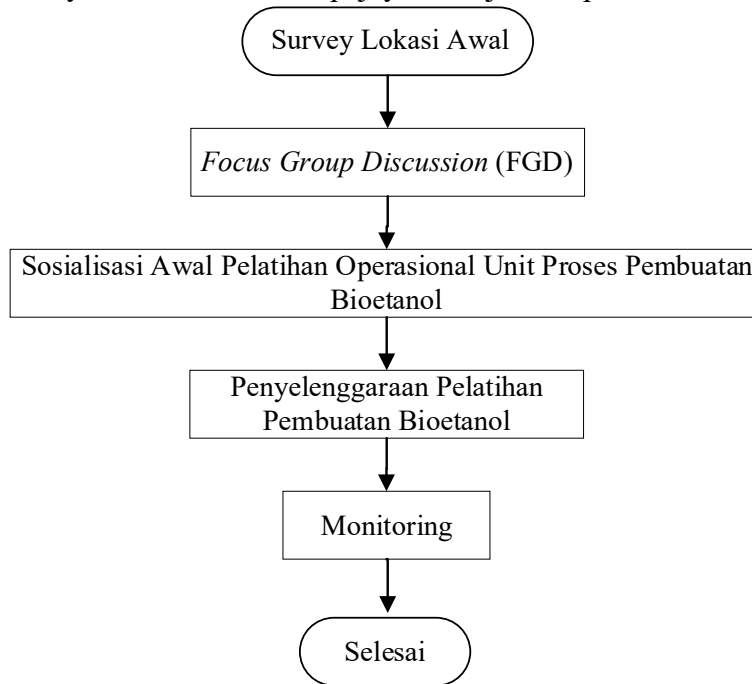
Tangki fermentor merupakan unit utama dalam produksi bioetanol, di mana bahan baku yang telah melalui tahap persiapan difermentasi dengan bantuan enzim dan mikroorganisme (Taherzadeh & Keikhsro, 2008). Enzim berperan menguraikan selulosa menjadi gula sederhana, yang selanjutnya difermentasi oleh mikroorganisme seperti ragi atau bakteri menjadi bioetanol serta karbon dioksida (Sun and Cheng, 2002). Untuk meningkatkan efisiensi, sering ditambahkan glukosa sebagai sumber karbon siap pakai. Kehadiran glukosa mempercepat laju fermentasi, meningkatkan hasil (*yield*) bioetanol (Chandel et al., 2007), serta membantu menjaga stabilitas kondisi lingkungan bagi mikroorganisme (Wooley et al., 1999), terutama ketika hidrolisis substrat utama berlangsung lebih lambat. Fermentor dirancang agar mampu menjaga kondisi operasi yang optimal, termasuk suhu, pH, dan homogenitas pengadukan, sehingga aktivitas enzim maupun mikroorganisme dapat berlangsung secara maksimal (Khavita & Pharm, 2014). Keberhasilan fermentasi dipengaruhi oleh faktor utama seperti jenis mikroorganisme, konsentrasi gula, tingkat aerasi (Lin & Tanaka, 2006), dan waktu fermentasi. Rancangan tangki dalam mencapai kondisi yang optimal 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	78-90 °C
pH	4,5-5,5
Konsentrasi Substrat	10-15 % w/v
Waktu Fermentasi	48-72 jam
Aerasi	Anaerobik
Konsentrasi Etanol	40-45 %

METODE

Metode Pengembangan Sistem Penyulingan Bahan Bakar Bioetanol Dari Sampah Organik Pertanian (*Development of a Bioethanol Fuel Distillation System from Agricultural Waste*) bagi masyarakat di Desa Sempajaya, Kecamatan Berastagi, Kabupaten Karo dilakukan dalam rentang waktu dari bulan Juni 2025 sampai dengan bulan September 2025 diawali dengan koordinasi dengan pihak mitra dan masyarakat di Desa Sempajaya, Kecamatan Berastagi, Kabupaten Karo. Kegiatan ini diawali dengan melakukan survei lokasi awal, *Focus Group Discussion* (FGD) bersama perangkat desa dan tim LPPM USU, sosialisasi awal pelatihan operasional unit proses pembuatan bioetanol, penyelenggaraan pelatihan pembuatan bioetanol, dan pendampingan di Desa Sempajaya. Alur kegiatan pengabdian masyarakat di Desa Sempajaya ditunjukkan pada Gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Pengabdian Masyarakat Pembuatan Bioetanol

A. Teknik Pengumpulan Data:

1. Survei Lokasi

Pada tahap awal kegiatan, dilakukan survei pendahuluan untuk memperoleh data mengenai kondisi pascapanen hasil pertanian, potensi limbah sayuran, kondisi ekonomi masyarakat, serta layanan publik yang tersedia di Desa Sempajaya, Kabupaten Karo. Survei ini memberikan gambaran awal mengenai dinamika sosial-ekonomi masyarakat setempat sekaligus potensi pemanfaatan limbah pertanian sebagai sumber daya alternatif.

2. *Focus Group Discussion* (FGD)

Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis bersama perangkat desa, tim LPPM USU, serta pihak-pihak terkait, seperti pengelola, pengguna, dan pemerhati fasilitas bioetanol, melalui metode *Focus Group Discussion* (FGD). FGD ini bertujuan untuk mengidentifikasi masalah utama dan merumuskan solusi alternatif. Berdasarkan hasil diskusi tersebut, disepakati bahwa langkah selanjutnya adalah pengembangan fasilitas, terutama dalam aspek teknologi produksi bioetanol. Pengembangan ini mencakup penentuan durasi pre-treatment yang optimal, waktu fermentasi yang tepat, serta metode pemurnian yang paling efisien. Selain itu, direncanakan juga pelatihan-pelatihan untuk meningkatkan kapasitas sumber daya manusia, produktivitas, dan manajemen fasilitas.

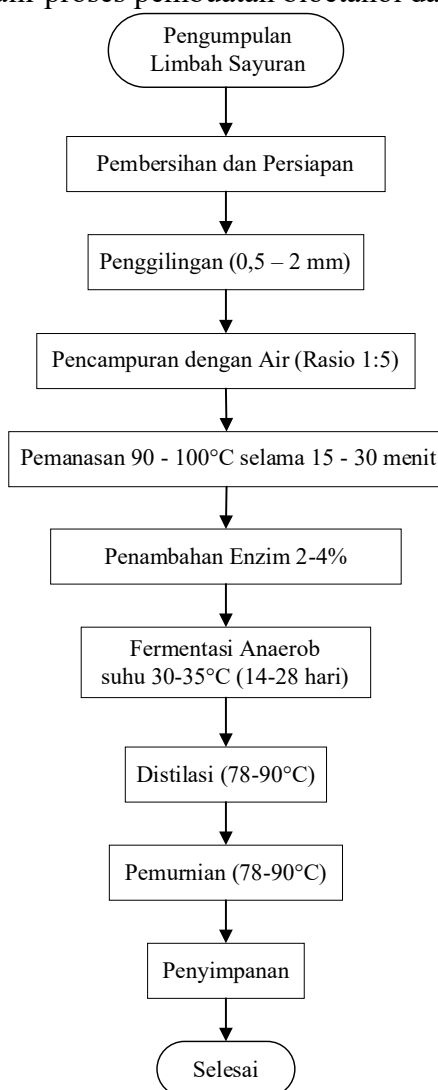
Pelaksanaan Kegiatan Operasional Unit Proses Pembuatan Bioetanol

Melaksanakan kegiatan Pengabdian Masyarakat berupa perancangan unit proses pembuatan bioetanol. Adapun kegiatan yang akan dilaksanakan meliputi:

1. Sosialisasi Awal Pelatihan Operasional Unit Proses Pembuatan Bioetanol

Sosialisasi atau penyuluhan merupakan aktivitas edukasi yang bertujuan untuk menyebarkan informasi guna memperbaiki pengetahuan, sikap, dan tindakan masyarakat, terutama petani, peternak, dan pelaku usaha, terkait dengan perkembangan ekonomi dan pertanian yang berkelanjutan. Sosialisasi tahap pertama ini bertujuan untuk memberikan penjelasan dan rincian mengenai aktivitas-aktivitas yang akan dilakukan pada pelatihan selanjutnya.

2. Sosialisasi Pasca Awal Pelatihan Operasional Unit Proses Pembuatan Bioetanol
Setelah sosialisasi dilakukan, tahap berikutnya adalah penyelenggaraan pelatihan. Pelatihan diselenggarakan oleh tim pelaksana, pelatih, dan ahli dari Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Sumatera Utara, dengan pendampingan dan narasumber yang memiliki pengalaman di bidangnya. Berbeda dengan sosialisasi, pelatihan ini dilaksanakan secara langsung di lapangan, dengan sesi pemaparan materi, tanya jawab, serta praktik langsung mengenai topik yang dibahas selama pelatihan. Pelatihan ini berlangsung selama dua hari.
3. Tahapan Proses Pembuatan Bioetanol dari Limbah Sayuran
Berikut merupakan diagram alir proses pembuatan bioetanol dari limbah sayuran :



Gambar 2. Diagram Alir Proses Pembuatan Bioetanol dari Limbah Sayuran

Adapun mekanisme proses pembuatan bioetanol adalah sebagai berikut :

- 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 hingga berukuran 0,5-2 mm 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 25-30 °C untuk membentuk campuran yang dikenal sebagai "bahan baku fermentasi".
- **Pemanasan**
Campuran bahan baku dan air dipanaskan dengan suhu 90-100°C untuk mempercepat proses pemecahan selanjutnya dan mematikan mikroorganisme yang tidak diinginkan selama 15-30 menit.
- **Penambahan Enzim atau Mikroba**
Dalam beberapa proses, enzim atau mikroorganisme tambahan ditambahkan ke dalam campuran sebanyak 2-4 % untuk membantu dalam proses fermentasi. Enzim tersebut bertanggung jawab untuk mengubah selulosa menjadi gula sederhana yang dapat difermentasi.
- **Fermentasi**
Campuran bahan baku yang telah dipersiapkan kemudian difermentasi menggunakan mikroorganisme seperti ragi atau bakteri secara anaerobik selama 14 hingga 28 hari. Mikroorganisme tersebut mengubah gula sederhana yang dihasilkan dari limbah sayuran menjadi Bioetanol (e Bio) dan karbon dioksida.
- **Distilasi**
Bioetanol hasil fermentasi dipisahkan menggunakan proses distilasi dengan memanaskan larutan fermentasi pada suhu 78-90 °C, sesuai dengan titik didih etanol. Ini melibatkan penguapan dan kondensasi untuk memisahkan bioetanol dari komponen lain dalam campuran.
- **Pemurnian**
Bioetanol hasil distilasi dimurnikan kembali melalui distilasi lanjutan pada suhu 78-90 °C untuk menurunkan kadar air dan meningkatkan kemurnian bioetanol.
- **Penyimpanan**
Bioetanol yang telah dimurnikan disimpan dalam tangki penyimpanan sebelum dijual atau digunakan 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 Bioetanol

Desain dan Pabrikasi unit proses pembuatan bioetanol dilaksanakan di Laboratorium Ekologi, Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara. Kegiatan ini dilakukan pada minggu ke-1 bulan Juni sampai minggu ke-3 bulan September 2025. Unit proses pembuatan bioetanol yang dirancang memiliki kapasitas 15 liter per jam dengan daya 450V dan konsumsi 4500 watt. Alat ini menggunakan metode kondensasi air dan dilengkapi dengan evaporator serta kondensor berbahan stainless steel yang tidak hanya menjamin daya tahan tinggi, tetapi juga memudahkan proses pembersihan.

Tabung pemanas dari *stainless steel* memberikan performa pemanasan yang stabil dan efisien. Dari segi keselamatan, alat ini telah dilengkapi dengan alarm peringatan untuk kondisi air rendah serta sistem pemutus daya otomatis yang melindungi perangkat dari kerusakan akibat kehabisan air. Selain itu, sistem pemulihan air yang terintegrasi berperan dalam mengurangi limbah dan menekan biaya operasional dengan mendaur ulang air yang telah digunakan.

Sebagai bagian dari penyempurnaan desain, seluruh sistem perpipaan juga dimodifikasi dengan menggunakan material *stainless steel* untuk meningkatkan isolasi termal dan menjaga stabilitas suhu selama proses. *Control panel* yang ditambahkan memungkinkan pengguna untuk mengatur laju aliran dan suhu distilasi secara presisi, sehingga meningkatkan kendali atas keseluruhan proses.

Kelebihan lain alat ini adalah efisiensi energinya yang tinggi. Penggunaan energi listrik memungkinkan kontrol suhu yang akurat dan waktu pemanasan yang lebih cepat dibandingkan dengan sumber panas eksternal. Kemampuan mempertahankan suhu yang konsisten selama distilasi sangat penting untuk memisahkan komponen dengan titik didih berdekatan, mencegah kerusakan material, dan memastikan kemurnian produk akhir. Alat ini juga telah dilengkapi dengan drum fermentasi yang terintegrasi, memastikan bahwa seluruh unit proses dapat beroperasi secara normal dan efisien. Adapun dokumentasi selama proses pengerjaan alat pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain dan Pabrikasi Unit Proses Pembuatan Bioetanol

Sampah sayuran yang digunakan, seperti sayur sisa dan kulit buah, menghasilkan rendemen bioetanol rata-rata sebesar 12-16% dari total berat bahan baku. Proses fermentasi berlangsung selama 48-72 jam, di mana kadar alkohol tertinggi tercatat mencapai 45% setelah distilasi. Pembuatan bioetanol dengan volume etanol yang dihasilkan dari 5 kg sampah sayuran mencapai 1,5 liter dan waktu destilasi selama 1 jam. Efisiensi fermentasi melalui tahap fermentasi sebesar 90%. Selain itu, penggunaan alat distilator menghasilkan pemisahan etanol (efisiensi distilasi) dengan kemurnian 95%, yang memenuhi standar biofuel (Badan Standarisasi Nasional. 2009). Efisiensi distilasi dihitung berdasarkan perbandingan volume etanol yang dihasilkan dengan potensi maksimum teoritis, menunjukkan efektivitas reaktor dengan menggabungkan efisiensi fermentasi dan distilasi mencapai 85,75%.

B. Sosialisasi dan Pelatihan Operasional

Pelatihan ini dilaksanakan sebagai upaya sosialisasi terkait penggunaan unit proses pembuatan bioetanol. Kegiatan pelatihan dibagi menjadi dua tahap. Tahap pertama berupa sosialisasi atau penyuluhan yang bertujuan memberikan informasi serta menambah wawasan masyarakat mengenai unit proses pembuatan bioetanol. Setelah pemaparan materi, kegiatan dilanjutkan dengan praktik langsung penggunaan unit proses tersebut, di mana masyarakat mengaplikasikan teknologi pembuatan bioetanol menggunakan sampah sayuran yang telah disiapkan oleh warga setempat. Dokumentasi kegiatan sosialisasi dan pelatihan ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Sosialisasi Pengabdian Unit Proses Pembuatan Bioetanol

Sosialisasi dan pelatihan dilakukan langsung oleh tim LPPM dari Universitas Sumatera Utara dengan masyarakat di Desa Sempajaya. Acara bersifat terbuka sehingga masyarakat dapat menyaksikan langsung proses pengolahan biogas sebagaimana tergambar pada Gambar 5.



Gambar 5. Partisipasi Aktif dari Masyarakat Selama Pelatihan

Pendekatan ini berhasil menarik minat dan mendorong partisipasi aktif masyarakat selama kegiatan, sekaligus menumbuhkan kesadaran akan potensi pemanfaatan limbah sayuran. Acara ditutup dengan sesi foto bersama, seperti terlihat pada Gambar 6. Program ini dinilai sangat efektif mengingat ketersediaan bahan baku yang melimpah di daerah tersebut. Dengan pendampingan dari tim USU, warga diharapkan mampu mengolah limbah sayuran pertanian menjadi produk bernilai guna, sehingga dapat meningkatkan pengetahuan lokal, memberi manfaat ekonomi, sekaligus mengurangi limbah yang sebelumnya terbuang.



Gambar 6. Foto Bersama Mitra dan Tim LPPM USU

Mitra juga terlibat dalam evaluasi program untuk menilai efektivitas kegiatan, dampak yang dihasilkan, serta perbaikan atau pengembangan yang perlu dilakukan di tahun berikutnya. Ke depannya, mitra diharapkan dapat menjadi contoh dalam penerapan program serupa guna mengatasi permasalahan pengelolaan limbah sayuran.

SIMPULAN

Program pengabdian kepada masyarakat telah dilaksanakan dengan baik mulai dari survey 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 bioetanol 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.

UCAPAN TERIMA KASIH

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

1. LPPM Universitas Sumatera Utara atas dukungan dana untuk tahun anggaran No. 180/UN5.4.11.K/Kontrak/PM.01.02/2025 tanggal 28 April 2025.
2. Pihak Mitra Kepala Desa Sempajaya dan Masyarakat setempat yang mendukung program pengabdian Masyarakat ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adeyani, N. P., Agustin, W., Absor, M. U., Broto, R. T. W., Arifan, F., & Yudanto, Y. A. (2020). 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.
- Alvira, P., Tomás-Pejó, E., Ballesteros, M., & Negro, M. J. (2010). Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review. *Bioresource Technology*, 101(13), 4851–4861. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.093>
- Badan Standardisasi Nasional. (2009). *Etnanol nabati (SNI 3565:2009)*. Badan Standardisasi Nasional.
- Chandel, A. K., Chan, E. S., Rudravaram, R., Narasu, M. L., Rao, L. V., & Ravindra, P. (2007). Economics and environmental impact of bioethanol production technologies: An appraisal. *Biotechnology and Molecular Biology Review*, 2(1), 14–32.
- Guritno, B., Argo, B. D., & Yulianingsih, R. (2011). Desain unit pengolahan bioetanol untuk petani di Desa Ngajum Kecamatan Sumberpucung Kabupaten Malang. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 2(1), 83–91.
- Herawati, N., Roni, K. A., S. F., & Rifdah. (2021). Pembuatan bioetanol dari rumput gajah dengan proses hidrolisis asam. *Jurnal Redoks*, 6(1), 35–51.
- International Energy Agency. (2020). *Renewables 2020: Analysis and forecast to 2025*. IEA.
- Khavita, R., & Pharm, M. (2014). *The design of fermenter*. Sri Ramaswamy Memorial University.
- Komarayati, S., & Gusmailina. (2011). Pembuatan bioetanol dari empulur sagu (*Metroxylon spp.*) dengan menggunakan enzim. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 29(1), 20–32.
- Lin, Y., & Tanaka, S. (2006). Ethanol fermentation from biomass resources: Current state and prospects. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 69(6), 627–642. <https://doi.org/10.1007/s00253-005-0229-x>
- Liu, F., Peng, Y., & Wu, Y. (2019). Advances in bioethanol distillation and dehydration technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 105, 361–375. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.046>
- Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y. Y., Holtzapple, M., & Ladisch, M. (2005). Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, 96(6), 673–686. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.06.025>

- Mussatto, S. I., Dragone, G., Guimarães, P. M. R., Silva, J. P. A., Carneiro, L. M., Roberto, I. C., & Teixeira, J. A. (2010). Technological trends, global market, and challenges of bioethanol production. *Biotechnology Advances*, 28(6), 817–830. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.07.001>
- Rahmat, B., Cahrial, E., & Rofatin, B. (2012). *Rancang-bangun alat produksi bioetanol* (Laporan penelitian). Universitas Siliwangi.
- Republik Indonesia. (2006). *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional*. Sekretariat Negara.
- Sun, Y., & Cheng, J. (2002). Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: A review. *Bioresource Technology*, 83(1), 1–11. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00212-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00212-7)
- Taherzadeh, M. J., & Karimi, K. (2008). Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 9, 1621–1651. <https://doi.org/10.3390/ijms9091621>
- 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, 794–795.