

Rancang Bangun Biodigester Limbah Peternakan Sapi untuk Produksi Biogas di Universitas Teuku Umar

Pribadyo^{*1}, Nadya Yunisa Fahmi², Herri Darsan², Mukrami³, T Irwansyah³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin Universitas Teuku Umar; Jalan Kampus UTU, Aceh Barat, 23615 Indonesia
e-mail: ^{*1}pribadyo@utu.ac.id

Abstrak

Pertumbuhan populasi global mendorong peningkatan kebutuhan energi yang menjadi tantangan serius bagi pembangunan berkelanjutan. Indonesia, sebagai konsumen energi primer terbesar kelima di Asia Pasifik, menghadapi tekanan terhadap ketahanan energi, khususnya di sektor rumah tangga. Di tengah dominasi energi konvensional, Indonesia memiliki potensi besar dalam energi terbarukan, salah satunya biomassa dari limbah peternakan sapi. Limbah ini mengandung bahan organik tinggi yang dapat dikonversi menjadi biogas melalui teknologi biodigester, sekaligus mengurangi pencemaran lingkungan dan mendukung kemandirian energi masyarakat. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun biodigester skala kecil yang sesuai dengan kondisi lokal di Universitas Teuku Umar (UTU), Aceh. Biodigester dirancang sebagai reaktor anaerob tertutup yang mengubah limbah kotoran sapi menjadi biogas dan pupuk organik. Melalui pendekatan berbasis komunitas, teknologi ini diharapkan dapat mendukung pengelolaan limbah yang ramah lingkungan dan meningkatkan kemandirian energi masyarakat. Selain itu, proyek ini menjadi sarana pembelajaran aplikatif bagi mahasiswa UTU dalam bidang teknik mesin, lingkungan, dan energi terbarukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biodigester berpotensi menjadi solusi strategis dalam pengelolaan limbah dan penyediaan energi alternatif yang berkelanjutan.

Kata kunci— Biodigester, biogas, energi terbarukan, kotoran sapi, Universitas Teuku Umar

Abstract

The increase in energy demand due to population growth is a global challenge that has a direct impact on the development sector. Indonesia, as the fifth-largest primary energy consumer in Asia Pacific, faces high pressure on energy security, especially in the household sector. In the midst of dependence on conventional energy sources, Indonesia has great potential in new and renewable energy, including biomass from the livestock sector. Cattle farming produces significant amounts of organic waste that, if left unmanaged, can pollute the environment. However, the waste has a high content of organic matter and can be converted into biogas through biodigester technology. This research aims to design and build a small-scale biodigester that is suitable for local conditions at Teuku Umar University (UTU), Aceh. The biodigester is designed as a closed anaerobic reactor that converts cow manure waste into biogas and organic fertilizer. Through a community-based approach, this technology is expected to support environmentally friendly waste management and increase community energy independence. In addition, this project is an applicative learning tool for UTU students in the fields of mechanical, environmental, and renewable energy engineering. The results show that biodigesters have the potential to be a strategic solution in waste management and the provision of sustainable alternative energy.

Keywords— Biodigester, biogas, renewable energy, cow dung, Teuku Umar University

I. PENDAHULUAN

Peningkatan permintaan energi karena populasi adalah tantangan terbesar saat ini, dan di masa depan, mengingat sektor energi merupakan kebutuhan utama untuk semua proses pembangunan lainnya. Dalam empat dekade terakhir, konsumsi energi per kapita secara global telah meningkat dari rata-rata 1,56 TOE (*Tone of Oil Equivalent*) per orang dari tahun 1973 menjadi 1,66 TOE per orang pada tahun 2000, dan 1,92 TOE per orang pada tahun 2014 [1]. Sementara Indonesia dengan populasi 261,9 juta jiwa [2], merupakan negara dengan tingkat konsumsi energi primer terbesar kelima di Asia Pasifik setelah China, India, Jepang, dan Korea Selatan [3]. Di tingkat Asia Tenggara, Indonesia mendekati 40 persen dari total penggunaan energi di antara anggota ASEAN lainnya. Selama tahun 2004 hingga 2014 tingkat konsumsi energi primer Indonesia telah mencapai enam puluh lima persen, dan diperkirakan akan terus meningkat menjadi delapan puluh persen pada tahun 2030. Sektor rumah tangga adalah pangsa terbesar dalam konsumsi energi, yaitu tiga puluh delapan persen, sedangkan sektor industri dua puluh sembilan persen, sektor transportasi dua puluh tujuh persen, non-energi empat persen, sedangkan sisanya satu persen untuk kebutuhan lain [5].

Saat ini, produksi energi listrik masih memiliki ketergantungan pada sumber energi konvensional, namun secara geografis Indonesia memiliki potensi besar dalam sumber energi baru terbarukan yang sangat melimpah diantaranya energi angin 950 MW, energi matahari 11 GW, energi biomassa 32 MW, bioenergi (biofuel) 32 MW, energi laut 60 GW dan panas bumi diperkirakan 29 GW [6]. Selain itu, Indonesia juga merupakan negara agraris dengan potensi besar di sektor peternakan, khususnya peternakan sapi [7]. Setiap tahun, aktivitas peternakan menghasilkan limbah organik dalam jumlah signifikan, terutama berupa kotoran sapi. Jika tidak dikelola secara tepat, limbah ini dapat menimbulkan berbagai masalah lingkungan seperti pencemaran air dan tanah, bau tidak sedap, serta menjadi sumber penyebaran penyakit. Di sisi lain, limbah kotoran sapi memiliki kandungan bahan organik yang tinggi dan berpotensi besar untuk dikonversi menjadi sumber energi terbarukan berupa biogas, serta residu yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik cair maupun padat [8].

Di tengah tantangan pengelolaan limbah tersebut, pendekatan teknologi tepat guna menjadi solusi strategis yang tidak hanya mengatasi dampak lingkungan, tetapi juga mendukung kemandirian energi masyarakat [9]. Universitas Teuku Umar (UTU), sebagai institusi pendidikan tinggi yang berlokasi di wilayah pesisir barat Aceh, memiliki komitmen kuat terhadap pengembangan teknologi yang relevan dengan kebutuhan lokal. Salah satu bentuk kontribusi nyata UTU adalah melalui pengembangan biodigester skala kecil yang dirancang untuk mengolah limbah peternakan sapi dari unit praktik kampus maupun mitra binaan masyarakat sekitar.

Biodigester merupakan reaktor tertutup yang memanfaatkan proses fermentasi anaerob untuk mengubah bahan organik menjadi biogas, yang terdiri dari metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) [10]. Proses ini berlangsung secara alami dengan bantuan mikroorganisme anaerob, dan menghasilkan residu yang kaya unsur hara, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik [11]. Teknologi biodigester tidak hanya mendukung pengelolaan limbah yang ramah lingkungan, tetapi juga berperan dalam penyediaan energi alternatif yang bersih dan berkelanjutan, terutama bagi masyarakat desa dan sektor pertanian. Rancang bangun biodigester bertujuan untuk menghasilkan prototipe yang sesuai dengan kondisi lokal, mudah dioperasikan, dan memiliki efisiensi konversi yang tinggi [12]. Melalui pendekatan berbasis komunitas, penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya pengelolaan limbah dan pemanfaatan energi terbarukan [13]. Selain itu, keterlibatan masyarakat dalam pengoperasian dan pemeliharaan biodigester menjadi kunci keberhasilan implementasi teknologi ini secara berkelanjutan [14].

Karenanya, hasil penelitian diharapkan dapat menjadi sarana pembelajaran aplikatif bagi mahasiswa UTU, khususnya dalam bidang teknik mesin, teknik lingkungan, dan rekayasa energi. Mahasiswa tidak hanya terlibat dalam proses desain dan konstruksi, tetapi juga dalam pengujian

kinerja dan analisis dampak lingkungan. Dengan demikian, rancang bangun biodigester ini tidak hanya memberikan solusi teknis terhadap permasalahan limbah peternakan, tetapi juga memperkuat peran perguruan tinggi dalam pengembangan teknologi berbasis kebutuhan masyarakat dan keberlanjutan lingkungan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dilaboratorium Keteknikan Jurusan Teknik Mesin Universitas Teuku Umar. Waktu penelitian dilakukan selama 3 (tiga) bulan, dimulai dari bulan Agustus sampai dengan bulan Oktober 2025. Adapun lokasi penelitian ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1 Laboratorium Keteknikan



Gambar 2 Lokasi Penelitian
(Sumber: Google Maps)

2.1 Konsep Desain

Tahap desain merupakan fase awal dalam pengembangan bioreaktor yang bertujuan untuk menentukan konsep dasar, meliputi bentuk, fungsi, fitur, serta solusi teknologi yang dibutuhkan. Pada tahap ini, disusun rencana desain secara menyeluruh, termasuk identifikasi subsistem konstituen dan penyusunan diagram alir proses. Selain itu, tahap desain mencakup penetapan spesifikasi teknis untuk komponen utama maupun pendukung yang akan digunakan. Untuk mendukung proses perancangan dan pembuatan prototipe, diperlukan sejumlah alat dan bahan sebagai berikut:

2. 1.1 Alat

1. Mesin Bubut digunakan untuk membentuk dan meratakan komponen silindris seperti poros, sambungan pipa, atauudukan katup. Mesin ini bekerja dengan memutar benda kerja pada porosnya, sementara alat potong bergerak secara linear untuk menghasilkan permukaan presisi tinggi.
2. Mesin Las berfungsi untuk menyambung komponen logam secara permanen, seperti rangka,udukan, atau sambungan pipa gas. Mesin las digunakan untuk memastikan kekuatan dan kedap udara pada struktur biodigester.
3. Mesin Frais digunakan untuk membuat alur, permukaan datar, dan profil pada komponen logam. Mesin ini memungkinkan pemesinan bentuk kompleks yang diperlukan dalam rangka danudukan sistem input/output biodigester.
4. Pemotong dan gergaji alat ini digunakan untuk memotong bahan dasar seperti pipa PVC, drum plastik, atau pelat logam sesuai ukuran desain. Pemotongan presisi sangat penting untuk memastikan kesesuaian antar komponen.
5. Penggaris alat ukur manual yang digunakan untuk memastikan dimensi dan posisi komponen sesuai rancangan. Digunakan dalam proses marking, verifikasi ukuran, dan kontrol kualitas.
6. Obeng digunakan untuk pemasangan dan pengencangan sekrup atau baut pada sambungan mekanis, penutup, dan sistem pengamanan biodigester.
7. Tang membantu dalam proses penjepitan, pemotongan kabel, atau pembengkokan komponen kecil. Sangat berguna dalam perakitan sistem input-output dan pengaturan katup gas.
8. Amplas digunakan untuk merapikan permukaan komponen, menghilangkan karat, atau mempersiapkan area sambungan agar lebih kedap udara dan aman untuk dilas atau direkatkan.
9. Peralatan K3 (Keselamatan dan Kesehatan Kerja) meliputi helm, sarung tangan, kacamata pelindung, masker, dan sepatu safety. Digunakan untuk melindungi peneliti dari risiko fisik dan kimia selama proses perakitan, pemotongan, dan pengujian biodigester..

2. 1.2 Bahan

Adapun bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelat baja, Besi ST 40, besi pipa, besi siku, Baut, Mur, Elbo dan Bantalan. Pada tahap ini, bentuk dan kesesuaian rancangan biodigester diperoleh. Dengan Langkah-Langkah Pencarian Solusi Pembuatan Biodigester Biogas sebagai berikut:

1. Identifikasi Permasalahan
 - Menentukan urgensi pengelolaan limbah peternakan dan kebutuhan energi alternatif.
 - Mengkaji dampak lingkungan dari limbah kotoran sapi yang tidak terkelola.
2. Studi Literatur dan Benchmarking
 - Menelusuri referensi ilmiah, standar teknis, dan studi biodigester yang telah berhasil.
 - Membandingkan berbagai tipe biodigester.
3. Analisis Kebutuhan dan Kondisi Lokal
 - Menyesuaikan desain dengan jumlah limbah harian, iklim dan topografi.
 - Menentukan rasio C/N, suhu fermentasi, dan waktu retensi yang sesuai.
4. Perancangan Sistem Biodigester
 - Menyusun desain bentuk reaktor, sistem input/output dan sistem pengaduk (agitasi).

Desain bentuk reaktor dilengkapi dengan sistem pengadukan (agitasi). Sistem terdiri dari batang agilator berbentukbaling-baling (propeller). Untuk meningkatkan turbulensi dan memperbaiki homogenitas di dalam bioreaktor, seringkali bioreaktor dilengkapi dengan sekat (*baffle*) yang umumnya berjumlah empat buah. Tenaga pengadukan yang dikonsumsi sangat tergantung pada jenis agitator yang

digunakan dan sifat reologi media biakan. Ada atau tidak adanya turbulensi ditetapkan berdasarkan kaitannya dengan bilangan Reynolds untuk agitasi, seperti ditunjukkan dalam persamaan [15]:

$$NR_e = d_i^2 N \rho / \mu \quad (1)$$

Dimana d_i adalah diameter agitator, ρ adalah densitas fluida, N adalah kecepatan putaran (rps), dan μ adalah viskositas fluida.

Dari nilai NR_e tersebut dapat ditarik garis pada kurva karakteristik untuk jenis pengaduk yang sesuai sehingga didapat nilai N_p (bilangan daya). Dari nilai N_p tersebut maka tenaga agitasi dapat dihitung dari rumus berikut :

$$N_p = P / (\rho N d) \quad (2)$$

Dimana P adalah konsumsi power (tenaga yang dibutuhkan untuk agitasi).

- Menentukan spesifikasi material, alat, dan komponen pendukung.

5. Simulasi dan Perhitungan Teknis

- Menghitung volume digester, estimasi produksi biogas, dan efisiensi konversi substrat.

Volume (V), tinggi (L), tinggi baffle (H), dan diameter (D) reaktor dihitung menggunakan persamaan berikut [16, 17]:

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot L \quad (3)$$

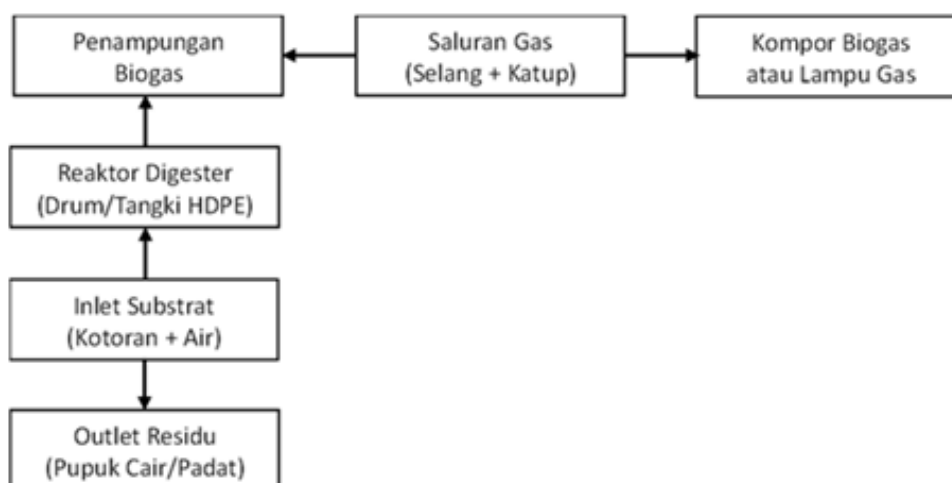
$$L = H + \frac{H}{5} \quad (4)$$

$$L = k \cdot D + \frac{k \cdot D}{5} = \frac{6 \cdot k \cdot D}{5} \quad (5)$$

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot \frac{6 \cdot k \cdot D}{5} = \frac{6 \pi k}{20} D^3 \quad (6)$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{20}{6 \pi k} V} \quad (7)$$

- Menyusun diagram alir proses dan layout sistem.



Gambar 3. Layout sistem biodigester

6. Pembuatan Prototipe

- Merakit biodigester sesuai desain dengan bahan lokal dan alat bengkel sederhana.
- Melibatkan mahasiswa dalam proses konstruksi.

7. Uji Kinerja dan Evaluasi

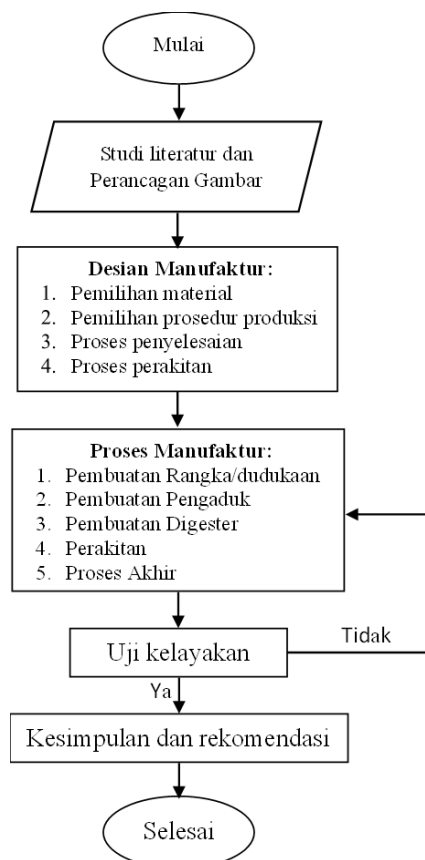
- Mengukur volume biogas harian, tekanan gas, dan stabilitas fermentasi.

8. Penyempurnaan dan Replikasi

- Menyempurnakan desain berdasarkan hasil uji coba.

2. 2 Proses Pembuatan

Proses pembuatan adalah bentuk kegiatan atau proses produksi yang mengubah bentuk bahan baku menjadi bahan jadi. Dalam proses pembuatannya dimulai dari merancang produk, kemudian menentukan spesifikasi bahan dari mana produk tersebut akan dibuat. Selanjutnya, bahan baku dimodifikasi dan dibentuk menjadi bagian-bagian yang diperlukan [18]. Pembuatan biodigester yang dibuat mencakup beberapa tahapan seperti yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Bagan alur Proses Manufaktur

2. 2.1 Proses Pemotongan

Waktu pemotongan

$$t_p = \frac{L}{v} \quad (8)$$

Dimana t_p adalah waktu pemotongan (menit), L adalah panjang pemotongan (mm/mnt), v adalah kecepatan pemotongan (mm/mnt).

Proses pengeboran

Kecepatan pemotongan bor

Kecepatan keliling bor ditulis secara matematis dengan rumus berikut:

$$V = \frac{\pi d N}{1000} \left(\frac{mm}{menit} \right) \quad (9)$$

Di mana d adalah diameter benda kerja (mm) dan N adalah putaran mesin

Hantaran penggurdian

Hantaran (f) pada penggurdian dinyatakan dalam inch/putaran ($mm/putaran$). Hantaran ini dapat dikonversi kedalam kecepatan hantaran linier (linear travel rate), f_r dalam inch/mm ($mm/menit$) dengan rumus:

$$f_r = N f \text{ atau } f_r = \frac{v \cdot f}{\pi D_o} \quad (10)$$

Waktu permesinan, T_m (menit), yang dibutuhkan dari satu ujung benda kerja bentuk silinder ke ujung yang lain dengan panjang potong L (inch atau mm) dengan persamaan:

$$T_m = \frac{L}{f_r} \text{ atau } T_m = \frac{L \pi D_o}{v f} \quad (11)$$

Kecepatan pelepasan material (*material removal rate*), MRR ($mm^3/menit$).

$$MRR = v f d \quad (12)$$

Kecepatan potong

Kecepatan potong (C_s) umumnya sudah tertera didalam text book, namun alangkah baiknya untuk memperjelas cara menghitungnya sebagai berikut:

$$C_s = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \text{ atau } n = \frac{1000 C_s}{\pi d} [rpm] \quad (13)$$

Dimana d adalah diameter rata-rata benda kerja $\frac{(d_o + d_m)}{2}$; mm , n adalah putaran poros utama; put/menit, $\pi = 3,14$, d_o adalah diameter mula; mm , d_m adalah diameter akhir; mm .

Kecepatan makan (v_f)

$$v_f = f \cdot n; mm/menit \quad (14)$$

Dimana f adalah gerak makan ($mm/putaran$) dan n adalah putaran poros utama ($putaran/menit$).

Waktu pemotongan

$$t_c = \frac{L_c}{v_f}; menit \quad (15)$$

Dimana t_c adalah waktu potong (menit), L_c adalah panjang pemotongan (mm/menit) dan v adalah kecepatan potong (mm/menit).

2.3. Proses Pengelasan

Pengelasan adalah proses penyambungan logam menggunakan panas, dengan atau tanpa tekanan. Menurut standar DIN, pengelasan merupakan ikatan metalurgi yang terjadi saat logam paduan berada dalam kondisi cair [19]. Pengelasan dibedakan pada cara kerja alat tersebut bekerja dan bentuk pemanasannya [20]. Sambungan las adalah ikatan dua buah logam atau lebih yang terjadi karena proses difusi dari logam. Dalam terminologi las, proses difusi pada kondisi padat disebut *Solid State Welding* (SSW) atau *Pressure Welding*, sedangkan kondisi cair disebut *Liquid State welding* (LSW) atau *Fusion Welding*. Keseimbangan daya yang dihasilkan dalam pengelasan busur didefinisikan dengan persamaan:

$$HRw = f_1 f_2 E = Um Aw v \quad (16)$$

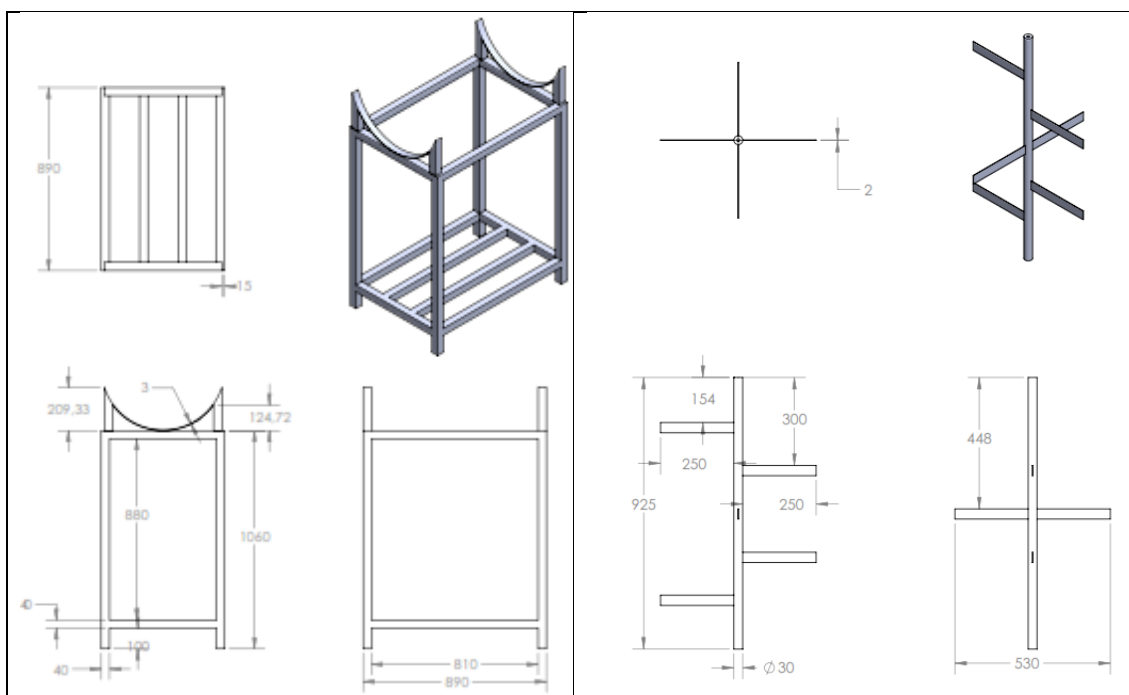
Dengan, E adalah tegangan, V , I adalah arus, HRw adalah laju pembentukan panas pada lasan (*rate of heat generation at the weld*), Watt atau Joule/sec. atau Btu/sec. Laju volume pengelasan logam (*volume rate of metal welded, MVR*), dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$MVR = \frac{HRw}{Um}, in^3/sec \quad (17)$$

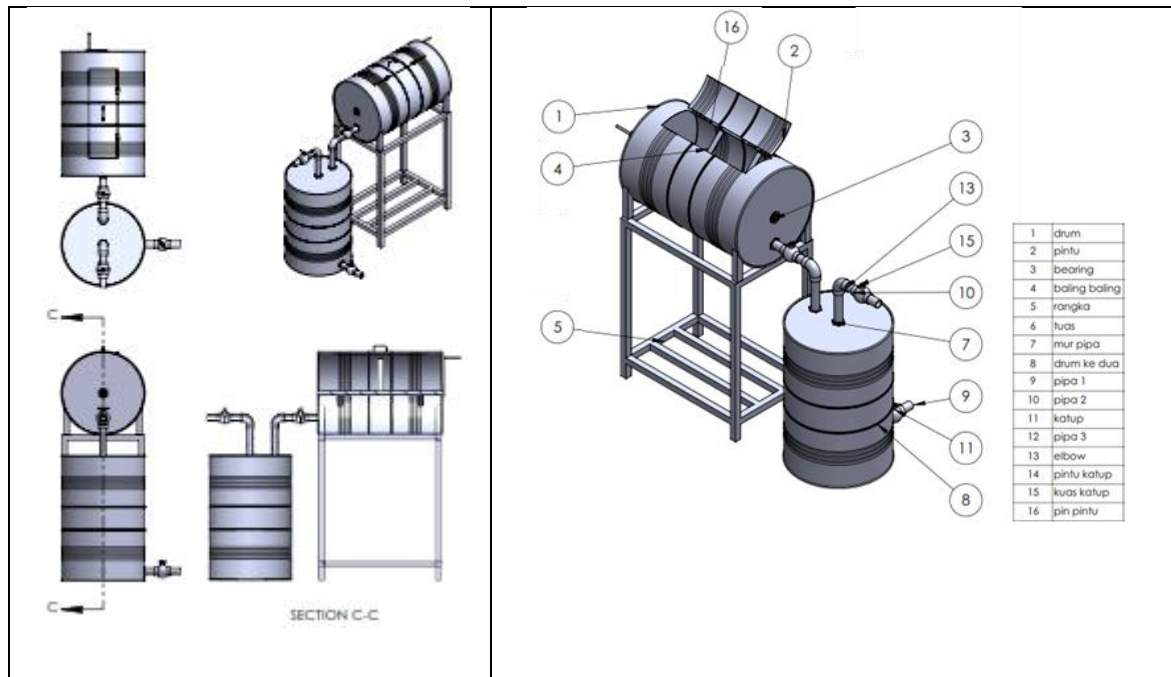
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Desain Digester Biogas

Proses pembuatan digester biogas mencakup beberapa tahap seperti pekerjaan pembubutan rangka, pembuatan poros pengaduk, pembuatan digester dan pembuatan penutup. Dalam membuat digester biogas, ada beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu menyiapkan bahan, menyediakan alat/mesin yang digunakan, menyiapkan gambar kerja. Gambar desain, dan hasil manufaktur ditunjukkan pada gambar 5, 6 dan 7.



Gambar 5. 2D Rangka/Dudukan



Gambar 6. 3D Digester Biogas



Gambar 7. Hasil Pembuatan Digester Biogas

3.2 Hasil Proses Manufaktur

Proses pembuatan produk (biodigester) sesuai dengan perancangan yang sebelumnya telah dituangkan dalam gambar baik 2 dimensi maupun 3 dimensi.

Proses Pemotongan

Waktu potong bodi (t_{p1})

Dilakukan untuk memotong plat baja yang mempunyai ketebalan 1,5 mm dengan diameter bawah 300 mm dan diameter atas 150 mm dan ketinggian 208 mm serta sudut kemiringan 6° .

Keliling sisi atas (s_1) = 144 mm

Keliling sisi bawah (s_2) = 225 mm

Panjang (l) = 497 mm

Untuk Memotong Plat dibutuhkan waktu jika dengan asumsi kecepatan potong (v) 30 mm/menit, maka:

$$t_{p1} = \frac{s_1 + s_2 + l}{v}$$

$$t_{p1} = \frac{144 \text{ mm} + 225 \text{ mm} + 497 \text{ mm}}{30 \text{ mm/menit}} = 28,86 \text{ menit}$$

Waktu potong saluran masuk (*inlet*)

Saluran masuk dengan ukuran diameter sudu 150 mm dan panjang saluran (l) 128 mm, kecepatan potongnya (v) 30 mm/menit.

s_1 (keliling sisi masuk) = s_2 (keliling sisi keluar) = πD

$kelilng = \pi \times 150 \text{ mm} = 471 \text{ mm}$

$$t_{p2} = \frac{s_1 + s_2}{v}$$

$$t_{p2} = \frac{471 \text{ mm} + 471 \text{ mm}}{30 \text{ mm/menit}} = 31,4 \text{ menit}$$

Waktu potong *house bearing*

House bearing yang berbentuk silinder dengan ukuran panjang 131 mm, diameter 75 mm, untuk memotongnya membutuhkan waktu lebih kurang sekitar 15 menit dengan kecepatan potong (v) 30 mm/menit.

S_1 (keliling sisi masuk) = S_2 (keliling sisi keluar) = $kelilng = \pi D$

$kelilng = \pi \times 70,5 \text{ mm} = 235,5 \text{ mm}$

$$t_{p3} = \frac{s_1 + s_2}{v}$$

$$t_{p3} = \frac{235,5 \text{ mm} + 235,5 \text{ mm}}{30 \text{ mm/menit}} = 15,7 \text{ menit}$$

Waktu potong kerangka

Kerangka yang berbentuk segi empat berukuran 1000 mm x 75 mm x 120 mm dengan kecepatan potong (v) 30 mm/menit.

Panjang potongan = $\{(2 \times 75 \text{ mm}) \times 4\} + \{(2 \times 120) \times 4\} = 1560 \text{ mm}$

$$t_{p4} = \frac{s}{v} = \frac{1560 \text{ mm}}{30 \frac{\text{mm}}{\text{menit}}} = 52 \text{ menit}$$

Waktu potong total

Waktu potong total (t_{pt}) = $t_{p1} + t_{p2} + t_{p3} + t_{p4}$

(t_{pt}) = 141,8 menit + 31,4 menit + 15,7 menit + 52 menit

$$(t_{pt}) = 240,9 \text{ menit}$$

Proses Gurdi

Jumlah lubang yang dibutuhkan sebanyak 4 lubang dengan diameter lubang 14 mm. dalam table untuk lubang dibawah 14 mm mendekati 9/16 inch dengan putaran spindel 747 dan kecepatan makan 0,008 in/rev (0,203) (mm/rev).

Tabel 1 Kecepatan Potong

MATERIAL AND CUTTING SPEED (FT PER MINUTE)											
Diameter of drill (in.)	Aluminum	Brass & Bronze	Cast iron	Mild steel 0.2-0.3 carbon (LOW)	Steel 0.4-0.5 carbon (MED)	Tool steel 1.2 carbon and drop forgings	Conn. rod molyb- denum steel	3.5 nickel steel	Stainless steel and monel metal	Malleable iron	Feed per revo- lution (in.)
	300	200	100	110	80	60	55	60	50	85	
	Revolutions per minute										
1/16	18,336	12,224	8,112	6,724	4,683	3,668	3,404	3,976	3,056	5,192	0.0015
1/8	9,168	6,112	3,056	3,362	2,444	1,834	1,702	1,988	1,528	2,596	0.002-0.003
3/16	6,108	4,072	2,036	2,242	1,630	1,222	1,120	1,324	1,018	1,734	0.004
1/4	4,584	3,056	1,528	1,681	1,222	917	851	994	764	1,298	0.005
5/16	3,668	2,444	1,222	1,344	978	733	672	794	611	1,039	0.005
3/8	3,054	2,036	1,018	1,121	815	611	560	662	509	867	0.006
7/16	2,622	1,748	874	921	699	524	481	568	437	742	0.007
1/2	2,292	1,528	764	840	611	459	420	497	382	649	0.008
9/16	2,037	1,358	679	747	543	407	373	441	340	577	0.008
5/8	1,836	1,224	612	673	489	367	337	398	306	520	0.009

Sumber: Kalpakjian, 2009

Waktu yang dibutuhkan untuk proses penggurdian adalah:

$$0,203 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \times 747 \frac{\text{rev}}{\text{menit}} = 151,7 \frac{\text{mm}}{\text{menit}}$$

$$\frac{1}{151,7} \frac{\text{menit}}{\text{mm}} \times 5 \frac{\text{mm}}{\text{lubang}} = 0,032 \frac{\text{menit}}{\text{lubang}}$$

Sehingga waktu yang dibutuhkan untuk 4 buah lubang adalah:

$$0,032 \frac{\text{menit}}{\text{lubang}} \times 4 \frac{\text{lubang}}{\text{produk}} = 0,128 \frac{\text{menit}}{\text{produk}}$$

4. KESIMPULAN

Biodigester yang dirancang dengan kapasitas 100 liter dan sistem anaerob tertutup terbukti mampu mengolah limbah peternakan sapi menjadi biogas dan pupuk organik secara efisien. Hasil uji menunjukkan produksi biogas sebesar 0,8–1,2 m³/hari dengan kandungan metana 55–65%, serta residu fermentasi yang kaya unsur hara. Sistem ini dapat beroperasi tanpa listrik dengan agitasi manual, menjadikannya solusi tepat guna bagi lingkungan kampus dan masyarakat desa. Teknologi ini mendukung pengelolaan limbah yang ramah lingkungan dan berpotensi meningkatkan kemandirian energi lokal. Pengembangan lebih lanjut dapat diarahkan pada integrasi sistem pemantauan digital, optimasi desain, dan pelatihan masyarakat untuk mendorong adopsi teknologi secara berkelanjutan.

5. SARAN

Adapun saran untuk penelitian ini adalah:

- Ketersediaan bahan baku yang melimpah, terbarukan, dan berkelanjutan merupakan modal penting dalam pengembangan energi alternatif, termasuk dari limbah peternakan sapi maupun pelepah kelapa sawit. Potensi biomassa ini sangat relevan untuk mendukung teknologi biodigester sebagai solusi pengelolaan limbah dan penyediaan energi bersih.
- Penelitian ini merupakan tahap awal yang berfokus pada rancang bangun biodigester skala kecil, dengan pendekatan berbasis kebutuhan lokal. Namun demikian masih terdapat ruang untuk penyempurnaan, baik dari sisi efisiensi konversi, sistem monitoring, maupun diversifikasi substrat.
- Dengan ketersediaan bahan baku yang melimpah dan berkelanjutan, teknologi biodigester selanjutnya menjadi pilihan strategis dalam menjawab tantangan energi dan lingkungan, khususnya di wilayah agraris seperti Indonesia. Penelitian lanjutan diharapkan dapat mengintegrasikan sumber biomassa lain, seperti pelepah dan tandan kosong kelapa sawit, untuk memperluas aplikasi dan dampak teknologi ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian Riset Penugasan Liga Prodi PNBP Hibah Internal Universitas Teuku Umar tahun 2025 dengan nomor kontrak: 396/UN59/AL.04/2025, telah terlaksana dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementrian Pendidikan Tinggi, Sains Dan Teknologi, LPPM-PMP Universitas Teuku Umar serta Laboratorium Keteknikan Jurusan Teknik Mesin Universitas Teuku Umar yang telah memberi dukungan peralatan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] *World Development Indicators. In World Development Indicators* 2017. <https://doi.org/10.1596/26447>.
- [2] BPS. Statistik Indonesia 2018. Diakses dari : <https://www.bps.go.id>.
- [3] ESDM., 2017. Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia.
- [4] IRENA., 2017. Renewable Energy Prospects: Indonesia, a REmap analysis. In International Renewable Energy Agency. <https://doi.org/10.1145/347642.347800>.
- [5] BPPT. Outlook energi Indonesia 2018: energi berkelanjutan untuk transportasi darat. Diakses dari www.bppt.go.id.
- [6] REN21. *Renewables 2017: global status report. In Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.082>.
- [7] BPS. Peternakan Dalam Angka 2024, Volume 9, ISSN: 2714-8416 Diakses dari Badan Pusat Statistik Indonesia.
- [8] Fidela, Wita, Yuni Ahda, Zhafira, Yusi Febriani, Yolanda Azzahra, Yiyin P. Ningky, T. Berlian, et al. 2024. "Pemanfaatan Kotoran Sapi Menjadi Biogas Sebagai Upaya Pengendalian Limbah Peternakan". Jurnal Ekologi, Masyarakat Dan Sains 5 (2): 186-92. <https://doi.org/10.55448/0br.55f55>.
- [9] Indriyani, L., Gandri, L., Teke, J., Tuwu, E. R., Ahmaliun, L. D., Bana, S., Nur Arafah, & Vivi Fitriani. (2024). Pemanfaatan Kotoran Sapi Menjadi Biogas Sebagai Upaya Kemandirian Energi Desa Lambakara Kecamatan Laeya, Konawe Selatan. *EcoForest: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(2), 53–60. Retrieved from <https://ecoforest.uho.ac.id/index.php/journal/article/view/15>.

- [10] Mulia, L. S., Darmawan, M. H., & Rusfidiantoni, Y. (2022). Produksi Biogas dari Kotoran Sapi dengan Biodigester Kontinyu dan Batch: Review. *Journal of Chemical Process Engineering*, 7(2), 45–52.
 - [11] Purnomo, D., & Sari, R. (2021). Konversi Energi Biomassa Kotoran Sapi melalui Rancangan Biodigester Skala Rumah Tangga. *LOGIC: Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi*, 21(1), 33–40.
 - [12] Siregar, A., & Nasution, R. (2020). Pelatihan Pemanfaatan Kotoran Ternak Sapi sebagai Pembuatan Biogas untuk Mengatasi Kelangkaan Gas LPG di Desa Sei Mencirim. *Jurnal Abdi Sabha*, 4(3), 15–22.
 - [13] Yuliana, E., & Ramadhan, T. (2019). Pengolahan Limbah Ternak Sapi secara Sederhana di Desa Pattalassang Kabupaten Sinjai. *Jurnal Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan*, 3(3), 171–177.
 - [14] Prasetyo, B., & Wulandari, S. (2020). Analisis Strategi Pengembangan Biogas sebagai Energi Alternatif Rumah Tangga dengan Memanfaatkan Limbah Ternak Kotoran Sapi. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 19(1), 45–57.
 - [15] Fatihah Suja' and Tom Donnelly, *Reynolds Number Calculation Method for Aerobic Biological Porous Packed Reactors*, *Jurnal Kejuruteraan* 18 (2006): 21-28.
 - [16] Jagani et al, *An Overview of Fermenter and the Design Considerations to Enhance Its Productivity*, *Pharmacologyonline*, 1(2010), p. 261-301
 - [17] Walas, Stanley M. *Chemical process equipment*, *Butterworth-Heinemann*, Wash ington. 1988.
 - [18] Kalpakjian, S., dan Schmid, S. R., 2009. *Manufacturing Engineering and Technology*, Sixth Edition, Person.
 - [19] Sardjono. KP, 2009. Pengaruh Hardening Pada Baja JIS G 4051 Grade S45C Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, 11,(2), 95-100.
 - [20] Wiryosumarto, H dan Okumura, T. 1994. *Teknologi Pengelasan Logam*. PT. Pradnya Paramitha, Jakarta.
-