

Sugihmanik Tofu Industry MSME Strengthening with Integrated Implementation of Biogas Energy Conversion to Electricity

Penguatan UMKM Industri Tahu Sugihmanik dengan Implementasi Terintegrasi
Konversi Energi Biogas ke Listrik

¹ Sri Hartini, ² Muchammad, ³ Suroto Munahar, ³ Dhimas Cahyo Anindito, ³ Bagiyo Condro Purnomo

¹ Prodi Teknik Industri, ² Prodi Teknik Mesin
Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto No.13, Tembalang, Kec. Tembalang
Kota Semarang, Jawa Tengah 50275

³ Prodi Teknik Mesin Otomotif, Universitas Muhammadiyah Magelang
Jl. Mayjen Bambang Soegeng, Kec. Mertoyudan, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah 56172

E-mail: munahar@unimma.ac.id

Abstract — Sugihmanik, Tanggungharjo District, Grobogan Regency, has a tofu industry center with 22 Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs). MSMEs are one of the local government's hopes to improve the standard of living for people in Semarang and its surroundings. However, the further development of MSMEs caused environmental pollution problems. The waste produced from tofu processing activities reaches an average of 67.997 m³ per day, with a soybean demand of around 3,200 kg per day. Some of this waste is dumped into rivers, damaging the ecosystem and causing the death of aquatic animals, negative impacts on the agricultural environment, and unpleasant odors. In addition to environmental pollution problems, the tofu industry MSMEs also has problems meeting production needs. This problem is due to high production costs due to the high need for electrical energy for the soybean milling process, lighting, and turning on water pumps to meet production needs. Based on the challenges faced by these MSMEs, this activity proposes a design for biogas conversion technology into electricity. The method involves utilizing waste energy from the tofu industry and converting it into electrical energy. In its implementation, the biogas conversion technology can be tested with a partner's electrical load of 1,500 watts. However, this technology still faces several obstacles. The generator machine that converts biogas into electrical energy requires a manual synchronization system when changing modes, necessitating training for partners. In the future, this activity will continue by developing an automatic synchronization control system to facilitate its use.

Keywords : Biogas, Electric, Tofu Industry, MSME

Abstrak — Sugihmanik, Kecamatan Tanggungharjo, Kabupaten Grobogan, memiliki sentra industri tahu dengan 22 Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM). UMKM merupakan salah satu harapan pemerintah daerah untuk meningkatkan taraf hidup masyarakat di Kota Semarang dan sekitarnya. Namun, perkembangan UMKM menimbulkan masalah pencemaran lingkungan. Limbah yang dihasilkan dari kegiatan pengolahan tahu rata-rata mencapai 67.997 m³ per hari, dengan kebutuhan kedelai sekitar 3.200 kg per hari. Sebagian limbah ini dibuang ke sungai, merusak ekosistem dan menyebabkan kematian hewan air, dampak negatif terhadap lingkungan pertanian, serta menimbulkan bau yang tidak sedap. Selain masalah pencemaran lingkungan, UMKM industri tahu juga mengalami permasalahan dalam memenuhi kebutuhan produksi. Permasalahan ini disebabkan oleh besarnya biaya produksi akibat tingginya kebutuhan energi listrik untuk proses penggilingan kedelai, penerangan, dan menghidupkan pompa air. Berdasarkan tantangan yang dihadapi oleh UMKM ini, kegiatan ini mengusulkan perancangan teknologi konversi biogas menjadi listrik. Metode yang digunakan adalah pemanfaatan energi limbah industri tahu menjadi energi listrik. Dalam implementasinya, teknologi konversi biogas ini dapat diujicobakan dengan beban listrik mitra sebesar 1.500 watt. Namun, teknologi ini masih menghadapi beberapa kendala. Mesin generator yang mengubah biogas menjadi energi listrik ini memerlukan sistem sinkronisasi manual saat melakukan pergantian moda, sehingga memerlukan pelatihan bagi mitra. Ke depannya, kegiatan ini akan terus berlanjut dengan mengembangkan sistem kontrol sinkronisasi otomatis untuk memudahkan penggunaannya.

Kata Kunci : Biogas, listrik, Industri Tahu, UMKM

1. PENDAHULUAN

Peningkatan konsumsi energi saat ini menjadi masalah yang sangat esensial. Pertumbuhan konsumsi energi secara global dan nasional mengalami peningkatan yang sangat signifikan [1][2]. Pada saat yang sama, produksi energi minyak di tingkat global telah menurun secara drastis [3][4]. Saat ini Indonesia masih memiliki ketergantungan yang cukup tinggi terhadap penggunaan energi fosil. Hal ini terlihat dari konsumsi energi nasional yang terus meningkat secara signifikan karena adanya pertumbuhan jumlah penduduk dan populasi teknologi transportasi.

Untuk menyelesaikan masalah ini pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (EBT) menjadi solusi masuk akal yang dapat ditempuh. Biogas sebagai salah satu komponen EBT memiliki beberapa kelebihan, diantaranya sumber energi dapat diperbaharui, lebih ramah lingkungan dan mampu bekerja di *engine* yang memiliki tekanan kompresi cukup tinggi. EBT merupakan sumber energi yang perlu ditingkatkan pengelolaannya, baik dari sisi produksi, pemanfaatan energi dan sebagainya. Pemerintah melalui Undang - Undang PP no. 79 Tahun 2014 menetapkan tentang Kebijakan Energi Nasional sebagai arah kebijakan sampai tahun 2050 [5]. Peraturan ini diharapkan menjadikan ketahanan dan kemandirian dalam pemanfaatan energi secara nasional dapat terus ditingkatkan baik dari sisi hulu sampai hilir.

Seiring dengan upaya percepatan pengembangan pemanfaatan EBT, Pemerintah melalui Kementerian ESDM mengupayakan untuk pengembangan biogas sebagai sumber energi alternatif. Biogas menarik untuk dikembangkan karena memiliki beberapa kelebihan, diantaranya memiliki potensi nilai ekonomi yang tinggi [6]-[8], lebih ramah lingkungan karena menggunakan bahan organik [9]-[12], dan dapat ditingkatkan kualitasnya menjadi bahan bakar berbasis metana [13]. Selain itu, biogas memiliki potensi untuk diproduksi secara massal [14][15], sehingga negara-negara maju/berkembang mulai melirik energi ini [16]-[18].

Setelah melihat potensi yang besar baik dari sisi ekonomi dan memberikan manfaat cukup besar, maka negara mencanangkan Program Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). RUEN ini yang menjadi salah satu acuan dalam pemanfaatan biogas menjadi bioenergi. Bioenergi akan menjadikan bauran energi secara nasional dalam rangka mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan mewujudkan energi yang ramah lingkungan. Namun demikian, pemanfaatan biogas masih jauh dari harapan pada kinerja REUN sampai tahun 2025. Potensi biogas di Indonesia masih cukup besar

terutama di Provinsi Jawa Tengah yang memiliki sampai sekitar 348.900 Kilowatt [19], terutama biogas di daerah Semarang.

Kecamatan Tanggungharjo, Kabupaten Grobogan, Semarang merupakan salah satu kawasan sentra industri tahu yang menghasilkan biogas cukup potensial. UMKM yang menjalankan usaha industri tahu di Desa Sugihmanik terdapat 22 pengusaha yang salah satu lokasinya terlihat dalam Gambar 1. UMKM yang menekuni usaha dalam bidang industri tahu ini menjadi salah satu harapan Pemerintah setempat untuk dapat meningkatkan taraf hidup yang lebih baik bagi masyarakat di lingkungan Semarang dan sekitarnya. Namun demikian, dalam perkembangan selanjutnya justru menghasilkan limbah yang menimbulkan pencemaran lingkungan.

Limbah yang dihasilkan dalam kegiatan produksi pengolahan tahu mencapai rata-rata 67,997 m³/hari dengan jumlah permintaan kedelai sekitar 3200 kg/hari [20]. Limbah industri tahu ini memiliki beberapa jenis, diantaranya limbah arang, ampas tahu maupun limbah cair yang dikenal dengan *Non Product Output* (NPO) yang berasal dari proses pencetakan, *filter*, perendaman, dan pencucian kedelai. Kebanyakan limbah cair dari hasil produksi tahu langsung dibuang ke sungai. Limbah cair ini memberikan dampak buruk bagi ekosistem yang berakibat pada kematian satwa air, lingkungan pertanian, maupun bau yang tidak sedap.



Gambar 1. Salah satu UMKM industri tahu di Sugihmanik.

UMKM industri tahu dalam menjalankan proses produksinya telah menghasilkan limbah yang pada proses berikutnya berhasil diolah menjadi biogas. Biogas yang dihasilkan saat ini hanya digunakan untuk keperluan memasak saja (Gambar 2) dan masih menimbulkan pencemaran berupa bau yang kurang sedap.

UMKM industri tahu memiliki banyak kebutuhan yang sangat penting untuk

mendukung produksi tahunya, diantaranya kebutuhan energi bahan bakar yang digunakan untuk memasak kedelai, memanaskan air dan menggoreng tahu. Untuk memenuhi kebutuhan energi bahan bakar, UMKM industri tahu menggunakan kulit padi/kayu bakar. Permasalahan kedua disebabkan oleh besarnya biaya produksi akibat tingginya kebutuhan energi listrik untuk proses penggilingan kedelai, penerangan, menghidupkan pompa air, dan *blower* untuk proses penggorengan. Pompa ini mengambil air yang jaraknya cukup jauh dari lokasi produksi, sehingga mengalami tegangan jatuh (*voltage drop*). *Voltage drop* memiliki dampak pada pemborosan arus listrik. Air diambil dari Sendang Sari yang ditempati puluhan pompa milik anggota UMKM (Gambar 3). Untuk memenuhi kebutuhan listrik yang tinggi, UMKM ini mengandalkan energi listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN). Kondisi ini mengakibatkan biaya produksi tahu cukup tinggi.

Untuk menyelesaikan permasalahan mitra pada kegiatan pengabdian ini, direncanakan mengolah limbah tahu menjadi biogas sebagai bahan bakar, dan merancang teknologi mesin konversi pembangkit tenaga listrik tenaga biogas. Listrik dihasilkan dari generator yang diputar oleh mesin dengan pembakaran energi biogas. Listrik ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan penerangan, penggilingan kedelai, memutar pompa listrik sehingga mengurangi penggunaan listrik dari PLN dan mengurangi biaya produksi tahu.



Gambar 2. Api hasil pembakaran biogas untuk memasak.



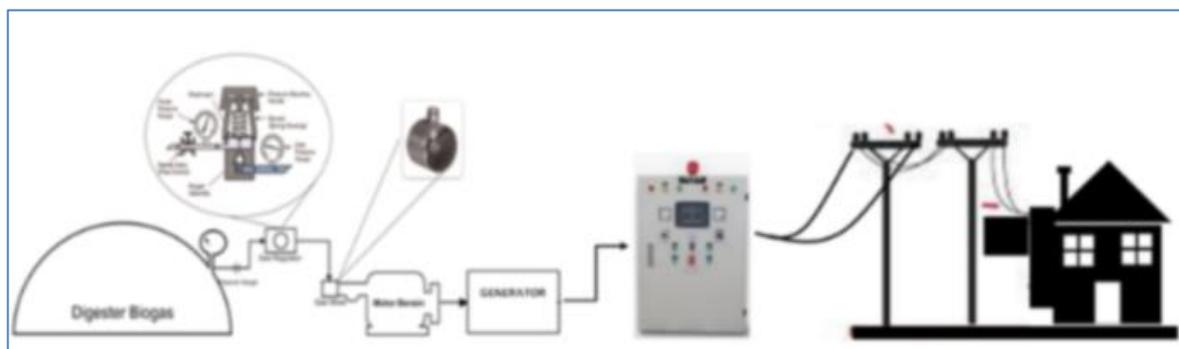
Gambar 3. Pompa air untuk kebutuhan produksi tahu yang diambil dari Sendang Sari Gerobogan [21].

2. METODE PELAKSANAAN

Konsep Teknologi

Sebelum merancang teknologi konversi biogas, ada beberapa proses awal yang perlu dilakukan diantaranya mengolah biogas agar bisa digunakan sebagai bahan bakar, dan mengenali kualitas biogas yang dihasilkan oleh UMKM pada mitra kegiatan. Setelah itu merancang teknologi konversi biogas, menentukan spesifikasi listrik yang dihasilkan berdasarkan kualitas biogas serta membuat konsep teknologi yang diterapkan. Konsep teknologi yang diterapkan ke mitra pengabdian pada perancangan teknologi konversi biogas menjadi listrik disajikan pada Gambar 4.

Engine bahan bakar biogas ini menggunakan sistem SI dengan sudut *ignition* tertentu, karena memiliki nilai oktane tinggi yang berbeda dengan bahan bakar bensin/fosil. Tekanan kompresi yang besar menjadikan ICE dengan bahan bakar biogas menghasilkan power yang lebih maksimal. Biogas yang dihasilkan oleh *digester* tidak dapat secara langsung digunakan sebagai bahan bakar ICE, namun harus melalui pemrosesan dengan sistem *filter*. Generator sebagai pembangkit listrik *Alternating Current* (AC) sangat dibutuhkan di UMKM Sugihmanik, Gerobogan, Semarang.



Gambar 4. Konsep teknologi konversi energi biogas menjadi pembangkit listrik.

Set-Up Sistem ICE

Kegiatan *set-up* sistem ICE dilakukan dengan beberapa tahapan. Tahapan awal dengan melakukan proses instalasi pemipaan biogas, *converter kits* dan *mixture*. Proses selanjutnya melakukan pemasangan penyetelan kompresi dan sudut pada sistem SI sesuai karakteristik *engine* BBG. Tekanan kompresi dinaikkan tekanannya agar biogas yang memiliki nilai oktan tinggi dapat meningkatkan kualitas pembakaran dalam ICE.

Pendampingan

Pendampingan mitra digunakan untuk memberikan pembekalan pada Sistem Operasi Prosedur (SOP) untuk mengoperasikan teknologi konversi biogas menjadi pembangkit listrik agar lebih aman. Memberikan bimbingan tentang cara melakukan *maintenance*/perawatan serta manajemen keselamatan ketika teknologi yang dirancang dapat bekerja secara terkendali.

Transfer Teknologi

Proses transfer teknologi ke mitra difokuskan pada cara pengendalian kualitas biogas yang dihasilkan oleh UMKM, agar dapat digunakan sebagai bahan bakar ICE pada teknologi konversi biogas menjadi pembangkit listrik. Biogas memiliki empat kualitas. Kualitas pertama, biogas dapat digunakan secara mudah untuk menghidupkan ICE. Kualitas kedua, biogas dapat digunakan untuk menghidupkan ICE namun dengan perlakuan khusus. Kualitas ketiga, biogas hanya dapat digunakan untuk memasak/menyalakan kompor namun tidak dapat digunakan sebagai bahan bakar ICE. Kualitas keempat, biogas tidak dapat digunakan sama sekali. Pengendalian kualitas biogas dilakukan dengan cara memonitor limbah yang masuk *digester* untuk selalu dijaga kualitasnya.

Participatory Rural Appraisal (PRA)

PRA merupakan salah satu metode pemberdayaan masyarakat, agar mitra dapat lebih peduli terhadap kegiatan pengabdian yang dilakukan. Ada beberapa keikutsertaan mitra dalam kegiatan diantaranya :

- Mitra dilibatkan dalam menentukan masalah yang diambil untuk diselesaikan dengan proses diskusi dan membangun kesepakatan bersama.
- Selama kegiatan berlangsung mitra menyediakan sarana dan prasarana untuk mendukung keberhasilan program yang dirancang.
- Biogas dan saluran pemipaan disediakan oleh mitra, karena mitra sangat membutuhkan teknologi ini guna meningkatkan profit UMKM.

- Digester* dan saluran limbah untuk menghasilkan biogas disiapkan oleh mitra, agar proses konversi energi listrik lebih cepat terealisasi.
- Dalam melakukan *set-up engine* dan instalasi pipa/saluran, mitra secara aktif mengikuti proses ini.
- Mitra turut menyediakan beban listrik untuk menguji konversi biogas menjadi pembangkit listrik.

Evaluasi Kegiatan

Evaluasi kegiatan dilaksanakan oleh pihak internal dan eksternal. Internal berasal dari pemerintah daerah Sugihmanik, Gerobogan Semarang, sedangkan eksternal dilakukan oleh lembaga independen yang bertujuan untuk menjaga kualitas teknologi yang dirancang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Implementasi Teknologi yang Dirancang

Sebelum implementasi teknologi dilakukan evaluasi terhadap cara mengolah biogas agar bisa digunakan sebagai bahan bakar. Pengolahan biogas dilakukan mitra dengan terlebih dahulu membersihkan *digester*, memasukkan *input digester* berupa limbah industri tahu dan tidak boleh dicampur oleh air sabun. Proses berikutnya observasi untuk mengetahui kualitas biogas hasil limbah produksi tahu tersebut.

Kualitas biogas dilihat dari kecepatan nyala dan warna api pembakaran biogas, tekanan biogas, kondisi *digester* dan saluran pemipaan yang terlihat. Hasil observasi awal memperoleh informasi tekanan biogas cukup besar berada pada rentang 6 kpa, namun memiliki warna api dengan panjang gelombang agak tinggi, dan saluran pemipaan kurang terawat. Warna api dengan panjang gelombang agak tinggi memberikan informasi bahwa biogas yang dihasilkan masuk dalam rentang kualitas kedua, yaitu perlu perlakuan khusus agar bisa digunakan sebagai bahan bakar ICE.

Setelah teknologi ICE jadi, proses berikutnya melakukan instalasi dan pemasangan teknologi ICE. Instalasi teknologi konversi energi biogas memiliki beberapa sistem. Sistem pertama berupa instalasi pemipaan saluran masuk biogas. Sistem kedua, saluran limbah menuju *digester*. Sistem ketiga berupa instalasi mesin ICE yang dirancang. Sistem keempat berupa instalasi kelistrikan yang dapat dihubungkan ke beban listrik secara langsung.

Pemasangan instalasi pemipaan saluran biogas digunakan sebagai sumber bahan bakar ke teknologi ICE (Gambar 5). Penggerak generator dihubungkan menggunakan pipa bulat dengan diameter tertentu dari saluran keluar dari pipa *digester*. Instalasi ini memiliki *filter* untuk menyaring gas yang masuk ke ICE. *Filter* terdiri dari *ziolit*, arang dan kapur yang bekerja menggunakan prinsip absorpsi dengan proses fisika.



Gambar 5. Instalasi teknologi yang dikembangkan dengan pipa dari *digester*.

Instalasi kelistrikan yang dapat dihubungkan ke beban listrik secara langsung terdiri dari beberapa komponen. Komponen-komponen ini diantaranya panel instrumentasi, *Miniature Circuit Breaker* (MCB), terminal dan kabel (Gambar 6).



Gambar 6. Instalasi penyaluran energi listrik biogas ke sistem beban di mitra.

Rancangan teknologi konversi biogas menjadi listrik diuji dengan dua skema. Skema pertama, teknologi konversi biogas dioperasikan tanpa beban (Gambar 6). Teknologi ICE yang dipasangkan ke generator dijalankan lebih dari satu jam dan menunjukkan kestabilan putaran cukup tinggi. Skema kedua, teknologi konversi biogas dihubungkan ke beban listrik secara langsung. Beban listrik yang diujicobakan sebesar kurang lebih 1500 watt. Pada saat generator dihubungkan dengan beban, putaran mesin agak turun sedikit namun masih menunjukkan kestabilan yang cukup. Kondisi ini menunjukkan bahwa ketersediaan daya

listrik dengan beban listrik terpenuhi. Selain itu, kualitas biogas memiliki korelasi positif dengan putaran mesin generator yang dihasilkan.



Gambar 7. Implementasi teknologi konversi biogas dengan beban listrik di mitra.

Hasil Pendampingan dan Tranfer Teknologi

Kegiatan pendampingan dilakukan untuk menjelaskan proses perlakuan khusus ketika mengoperasikan engine ICE, perawatan saluran pipa limbah/biogas dan *engine* ICE, penggantian filter dan pembuangan limbah tahu yang diijinkan. Perawatan *engine* ICE harus dilakukan setiap 300 jam sekali. Penggantian *filter* biogas dilakukan setiap 600 jam sekali. Pendampingan transfer teknologi juga dilakukan untuk proses pendeteksian terjadinya permasalahan. Transfer teknologi yang dilakukan diantaranya cara perbaikan sistem pengapian, pemilihan material untuk *filter* biogas dan jaringan instalasi kelistrikan saat terjadi sistem *trip/short*.

Hasil Evaluasi Kegiatan terhadap Dampak Kegiatan

Evaluasi kegiatan berupa perbandingan antara permasalahan yang ditetapkan dengan solusi yang ditawarkan (Tabel 1), serta perbandingan kondisi mitra sebelum dan sesudah implementasi teknologi konversi biogas (Tabel 2). Implementasi teknologi konversi biogas menjadi energi listrik baru terealisasi 1500 watt. Namun melihat potensi limbah UMKM Industri Tahu di Sugihmanik sangat besar, memungkinkan untuk ditambah jumlahnya dan dinaikkan kemampuannya menjadi 5000 watt.

Tabel 1. Solusi Permasalahan

Permasalahan	Solusi yang ditawarkan
1. Limbah hasil industri tahu jumlahnya cukup besar dan menghasilkan pencemaran bagi lingkungan sekitar	1. Limbah hasil industri tahu diubah menjadi energi biogas digunakan sebagai bahan bakar ICE.
2. Mitra memiliki kebutuhan biaya produksi tahu yang tinggi untuk listrik yang besar .	2. Menurunkan biaya produksi dengan cara mengurangi biaya pemakaian listrik.
3. Mitra tergantung dengan PLN.	3. Merancang mesin energi listrik tenaga biogas sehingga mengurangi ketergantungan terhadap PLN.

Tabel 2. Perbedaan Kondisi Mitra Sebelum/Sesudah Pelaksanaan Program

Sebelum	Setelah
Mitra membuang limbah ke sungai, sehingga menimbulkan pencemaran lingkungan hidup	Mitra membuang limbah ke Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dan diolah menggunakan <i>digester</i> . Hasilnya limbah aman, mengurangi pencemaran lingkungan, dan menghasilkan biogas yang dapat digunakan sebagai bahan bakar ICE.
Mitra sangat tergantung dengan PLN. Kondisi ini menyebabkan biaya produksi tahu melambung tinggi.	Limbah yang dihasilkan oleh mitra diubah menjadi energi listrik yang dapat mengurangi biaya produksi, dan mampu mengurangi ketergantungan dengan PLN.
Mitra memenuhi kebutuhan memasak menggunakan bahan bakar kayu dengan harga relatif tinggi.	Biogas selain dikonversi menjadi listrik, digunakan juga untuk kebutuhan memasak, sehingga mengurangi penggunaan bahan bakar kayu.

4. PENUTUP

Kegiatan implementasi teknologi konversi biogas menjadi Pembangkit Tenaga Listrik di UMKM daerah Sugihmanik, Grobogan Purwodadi Semarang telah merubah kondisi dimana limbah yang awalnya dibuang ke sungai telah diolah menjadi energi biogas, sehingga mengurangi pencemaran lingkungan serta memberikan nilai tambah. Nilai tambah ini berupa pemanfaatan biogas menjadi sumber energi pembangkit listrik. Teknologi konversi listrik tenaga biogas mampu menghasilkan daya 1500 watt sehingga dapat digunakan untuk pemenuhan produksi pembuatan tahu dan mengurangi ketergantungan dengan PLN. Potensi limbah UMKM Industri Tahu di Sugihmanik yang sangat besar memungkinkan penambahan jumlah konverter dan dinaikkan kemampuannya menjadi 5000 watt. Ini dapat didorong menuju desa mandiri energi.

PENGHARGAAN

Ucapkan terima kasih disampaikan kepada LPPM Universitas Muhammadiyah Magelang,

Pemerintah Daerah Kabupaten Grobogan Semarang, dan Program Studi Teknik Mesin Universitas Diponegoro yang telah membantu terwujudnya kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bob Dudley. (2019). BP Statistical Review of World Energy Statistical Review of World, 2019. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>.
- [2] D. Siswanto. (2019). Out Look Energi Indonesia 2019, Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional., <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-outlook-energi-indonesia-2019-bahasa-indonesia.pdf>
- [3] Al-fattah and SM. (2019). Journal of Petroleum Science and Engineering Non-OPEC conventional oil : Production decline , supply outlook and key implications. *J. Pet. Sci. Eng.*, vol. 189, p. 107049. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.107049>.
- [4] A. A. Andriyanova and O. V. D. & H. Haiyan. (2023). Decline in Oil Production and the Crisis of Petroleum Products in 2020–2021: The Importance of Production Planning in Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes ((EFEPP)), E. G. Popkova, Ed., Springer Link, 2023. [Online]. Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-46525-3_49
- [5] P. RI.(2014).Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi.
- [6] A. Sugiyono et al.. (2019).Analisis Keekonomian Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dari Pome Dengan Continuous Stirred Tank Reactor (Cstr), *Maj. Ilm. Pengkaj. Ind.*, vol. 13, no. 1, pp. 75–84, 2019. <https://ejournal.brin.go.id/MIPI/article/view/1630/998>
- [7] A. Irfan, H. Harkaneri, R. Rimet, and D. Febria. (2023). Memajukan Ekonomi melalui Pemanfaatan Biogas dariKotoran Sapi di Desa Makmur Sejahtera (Advancing theEconomy through Utilizing Biogas from Cow Manure inMakmur Sejahtera Village),” *Yumary J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 4, no. 1, pp. 125–136.
- [8] S. F. Ahmed et al.. (2021). Biogas upgrading, economy and utilization: a review,” *Environ. Chem. Lett.*, vol. 19, no. 6, pp. 4137–4164. doi: 10.1007/s10311-021-

- 01292-x.
- [9] P. Abdeshahian, J. S. Lim, W. S. Ho, H. Hashim, and C. T. Lee. (2016). Potential of biogas production from farm animal waste in Malaysia, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 60, pp. 714–723, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.01.117.
- [10] V. Paolini, F. Petracchini, M. Segreto, L. Tomassetti, N. Naja, and A. Cecinato. (2018). Environmental impact of biogas: A short review of current knowledge,” *J. Environ. Sci. Heal. - Part A Toxic/Hazardous Subst. Environ. Eng.*, vol. 53, no. 10, pp. 899–906. doi: 10.1080/10934529.2018.1459076.
- [11] S. Achinas and G. J. W. Euverink. (2016). Theoretical analysis of biogas potential prediction from agricultural waste. *Resour. Technol.*, vol. 2, no. 3, pp. 143–147. doi: 10.1016/j.reffit.2016.08.001.
- [12] S. Achinas, V. Achinas, and G. J. W. Euverink. (2017). A Technological Overview of Biogas Production from Biowaste. *Engineering*, vol. 3, no. 3, pp. 299–307. doi: 10.1016/J.ENG.2017.03.002.
- [13] A. I. Adnan, M. Y. Ong, S. Nomanbhay, K. W. Chew, and P. L. Show. (2019). Technologies for biogas upgrading to biomethane: A review, *Bioengineering*, vol. 6, no. 4, pp. 1–23. doi: 10.3390/bioengineering6040092.
- [14] A. Nsair, S. O. Cinar, A. Allassali, H. A. Qdais, and K. Kuchta,(2020). Operational Parameters of Biogas Plants: A Review and Evaluation Study,” *Energies*, vol. 13, no. 15. doi: 10.3390/en13153761.
- [15] A. Kasinath et al., (2021). Biomass in biogas production: Pretreatment and codigestion,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 150, p. 111509. doi: 10.1016/j.rser.2021.111509.
- [16] O. Kucher et al.(2022).Energy Potential of Biogas Production in Ukraine, pp. 1–22, 2022.
- [17] N. Scarlat, J. Dallemand, and F. Fahl (2018).Biogas : Developments and perspectives in Europe. *Renew. Energy*, vol. 129, pp. 457–472. doi: 10.1016/j.renene.2018.03.006.
- [18] S. Mittal, E. O. Ahlgren, and P. R. Shukla (2018). Barriers to biogas dissemination in India : *A review*,” vol. 112, pp. 361–370. doi: 10.1016/j.enpol.2017.10.027.
- [19] Parikesit and SB, (2017).Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional. [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/Details/68772>.
- [20] S. A. P. Nimpoeno and R. A. Akbar (2023). Perencanaan Sistem Pengelolaan Air Limbah UMKM Tahu di Desa Sugihmanik, Kecamatan Tanggunharjo, Kabupaten Grobogan, Diponegoro Semarang. <https://eprints2.undip.ac.id/id/eprint/1524/>
- [21] S. Anwar (2023). Mata Air Sendangsari Grobogan Jadi Tumpuan Warga saat Kemarau, Muri News.com. https://berita.murianews.com/saiful-anwar/398662/footer_text.php

Ruang kosong ini untuk menggenapi jumlah halaman sehingga jika dicetak dalam bentuk buku, setiap judul baru akan menempati halaman sisi kanan buku.