

Studi literatur: pemanfaatan teknologi biogas dari limbah organik di Indonesia

Literature study: utilization of biogas technology from organic waste in Indonesia

Lulu Hani Fauziah^{1*}, Ahmad Fauzan Hidayatullah²

¹Departemen Pendidikan Biologi, Universitas Islam Negeri Walisongo, Semarang, Indonesia

²Departemen Teknik Lingkungan, Universitas Islam Negeri Walisongo, Semarang, Indonesia

Abstrak.

Kebutuhan sumber daya energi semakin meningkat tiap tahunnya, sementara cadangan sumber energi fosil semakin berkurang dan akan habis pada masanya seperti batu bara, minyak bumi dan gas alam. Kontribusi dari hasil pembakaran minyak bumi dan gas alam menimbulkan emisi yang dapat mencemari bumi. Biogas merupakan energi terbarukan (*renewable*), ramah lingkungan dan memiliki peluang untuk dikembangkan sebagai energi alternatif yang mulai diperhitungkan. Dalam hal ini pemerintah berupaya dalam pengembangan energi terbarukan di seluruh Indonesia yang tertuang dalam PP Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional. Penelitian kualitatif ini bertujuan untuk mengetahui pemanfaatan biogas di Indonesia berdasarkan berbagai penelitian di beberapa daerah di Indonesia dengan meninjau pada studi sebelumnya untuk memberikan penjelasan tambahan tentang hambatan dan solusi pengembangan biogas di Indonesia.

Abstract.

The need for energy resources is increasing every year. Meanwhile, reserves of fossil energy sources are decreasing and will run out over time, such as coal, oil and natural gas. The contribution from the burning of oil and natural gas causes emissions that can pollute the earth. Biogas is a renewable energy, environmentally friendly and has the opportunity to be developed as an alternative energy that is starting to be taken into account. In this case the government is trying to develop renewable energy throughout Indonesia as stated in Government Regulation Number 79 of 2014 concerning National Energy Policy. This qualitative research aims to determine the use of biogas in Indonesia taken from various studies in several regions in Indonesia by reviewing previous studies to provide additional explanations about the obstacles and solutions to biogas development in Indonesia.

Keywords: alternative energy, biogas, renewable, organic waste

Kata kunci: biogas, energi alternatif, terbarukan, limbah organik

1. PENDAHULUAN

Krisis energi yang dialami dunia saat ini disebabkan adanya kenaikan konsumsi energi dunia yang signifikan dan penurunan cadangan minyak dunia, termasuk Indonesia (Nurmalina dan Riesty 2010). Sementara itu, sumber energi utama di Indonesia masih berbahan bakar minyak bumi. Terjadinya kelangkaan jumlah pasokan energi yang tidak dapat diperbarui menuntut kita untuk berinovasi memberdayakan sumber energi alternatif lain yang jumlahnya masih melimpah. Oleh karena itu, dibutuhkan sumber energi yang ramah lingkungan sebagai sumber Energi Baru Terbarukan (EBT) (Dewi dan Kholik 2018).

* Korespondensi Penulis
Email : lulu_hani_fauziah_2008086081@walisongo.ac.id

Keseriusan pemerintah dalam menangani hal ini yaitu dengan mengeluarkan kebijakan berupa PerPres Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional yang selanjutnya diperkuat dengan PP Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional. Pemerintah menargetkan penggunaan energi dari bahan bakar gas sebesar 30% dan penggunaan *renewable energy* sebesar 17%. Melalui PP Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) memiliki program nasional untuk mencapai 23% dari total bauran energi Indonesia pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050 (Budiman 2021). Dalam hal ini, biogas menjadi salah satu opsi energi alternatif yang diharapkan mampu mewujudkan program tersebut.

Biogas merupakan energi terbarukan yang ramah lingkungan. Biogas dapat dihasilkan dari limbah organik seperti kotoran ternak, limbah dapur, limbah cair tahu dan eceng gondok (Aji dan Garside 2022). Biogas merupakan campuran gas yang mudah terbakar, hasil dari aktivitas anaerobik limbah organik seperti misalnya kotoran manusia ataupun hewan, limbah rumah tangga (limbah domestik), atau limbah organik yang *biodegradable* (senyawa yang mudah diuraikan oleh mikroorganisme). Penguraian dilakukan oleh bakteri *metanogenik* (Purnomo dan Waluyo 2017). Komposisi dari biogas ini bervariasi, tergantung sumber bahan biogasnya. Akan tetapi, biasanya memiliki kandungan 50–70% CH₄, 25–50% CO₂, 1–5% H₂, serta 0,3–3% N₂ dan H₂S (Sitthikhankaew *et al.* 2011)

Biogas menjadi salah satu usaha diversifikasi energi yang mudah dikembangkan di Indonesia dan cukup sederhana. Biogas menghasilkan nilai kalor yang cukup besar, sehingga berpotensi untuk menjadi penghasil energi listrik (Adityawarman *et al.* 2015). Di pedesaan khususnya, biogas bisa menjadi sumber energi yang sangat ideal untuk diproduksi karena bisa diolah mendekati titik konsumsinya. Dengan alasan tersebut, biogas cocok dijadikan sebagai pembangkit listrik yang terdesentralisasi di daerah pedesaan dengan penduduk yang tidak terlalu banyak (Guo *et al.* 2010).

Dari sudut pandang lain, bahan limbah perkotaan juga dapat diproduksi pada skala yang lebih besar untuk menghasilkan listrik bagi masyarakat setempat. Teknologi biogas di Indonesia telah mengalami perkembangan sejak lama dan terus mengalami peningkatan dan pembaharuan. Namun, aplikasi penggunaan biogas masih belum berkembang luas. Umumnya kendala yang terjadi seperti kemampuan teknis yang belum mumpuni, kebocoran pipa gas, biaya konstruksi mahal dan desain reaktor tidak *user friendly* (Widodo *et al.* 2006).

Menurut Kementerian ESDM (2012), sebagian besar pasokan energi nasional Indonesia pada tahun 2012 berasal dari minyak dan hanya sebagian kecil yang didasarkan pada sumber Energi Baru Terbarukan (EBT). Padahal Indonesia menyimpan banyak potensi sumber daya EBT yang dapat dikembangkan. Memaksimalkan pemanfaatan sumber daya ini dapat memainkan peran penting dalam memperkuat keberlanjutan pasokan energi Indonesia dengan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Baru-baru ini, telah terjadi peningkatan jumlah peternakan lokal di Indonesia yang berpotensi menyediakan bahan baku dalam jumlah besar untuk biogas. Selain itu, Indonesia sebagai produsen kelapa sawit terkemuka di seluruh dunia memiliki produksi kelapa sawit yang melimpah, sehingga potensi limbah residu yang dihasilkan pun tinggi. Di samping itu, limbah domestik yang ada di Indonesia pun belum mendapat pengelolaan yang baik selain sebagai tumpukan sampah yang dibiarkan begitu saja.

Penerapan teknologi biogas di Indonesia sudah berlangsung sejak tahun 1980-an sebagai proyek yang didukung oleh *Food and Agricultural Organization* (FAO) (Alberdi *et al.* 2018). Sejak saat itu, Indonesia telah membangun 48.038 sistem biogas yang menghasilkan 75.044,2 m³/hari atau setara dengan 26,72 juta m³/tahun biogas. Sekarang ada 96,21 MW biogas komersial yang tersedia (IESR 2019). Namun, kondisi pengelolaan biogas saat ini yang belum efektif dan belum dimanfaatkan secara maksimal terutama di daerah-daerah terpencil di Indonesia, belum sebanding dengan potensi yang tersedia. Penelitian kualitatif ini bertujuan untuk mengetahui pemanfaatan biogas di Indonesia dengan meninjau pada studi sebelumnya untuk memberikan penjelasan tambahan tentang hambatan dan potensi pengembangan biogas di Indonesia.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Penelitian ini dilakukan pada September-Desember 2022 dengan cakupan literatur mutakhir dalam kurun waktu 5 tahun (2017-2022) di seluruh wilayah Indonesia. Data yang diambil merupakan data kepustakaan dari berbagai sumber penelitian yang diperoleh melalui laman *Science Direct*, *Elsevier*, *Google Scholar* dan *website* BPS. Untuk menemukan literatur yang relevan, digunakan kata kunci “biogas” dalam proses pencarian dan telah mengalami tahap penyaringan dan peninjauan.

2.2. Prosedur analisis data

Penelitian menggunakan teknik kualitatif dengan pendekatan studi literatur untuk mengkaji relevansi dari berbagai sumber penelitian tentang pengelolaan biogas di Indonesia. Penulis melakukan pencarian dan penjaringan data literatur baik melalui internet, *text book*, jurnal ilmiah baik nasional maupun internasional, surat kabar dan sebagainya yang berhubungan dengan pemanfaatan dan permasalahan biogas sebagai energi alternatif. Diperoleh literatur sebanyak 14 artikel ilmiah sebagai sumber utama dan ditambah dengan literatur lain, laporan energi, studi kebijakan dan regulasi, serta informasi terbaru dari Badan Pusat Statistik untuk mendukung analisis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis literatur berupa penelitian mengenai pemanfaatan biogas di Indonesia sejak 5 tahun terakhir (2017-2022) ditabulasikan pada **Tabel 1**. Berdasarkan studi literatur jurnal yang telah dipaparkan, diketahui bahwa Indonesia menyimpan banyak potensi sumber daya Energi Baru Terbarukan (EBT). Memaksimalkan pemanfaatan sumber daya ini dapat memainkan peran penting dalam memperkuat keberlanjutan pasokan energi Indonesia dengan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil (Khalil *et al.* 2019). Indonesia menyediakan beragam sumber bahan organik yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar biogas.

Tabel 1. Kajian mutakhir dari literatur berupa penelitian mengenai pemanfaatan biogas di Indonesia sejak 5 tahun terakhir (2017-2022).

Tahun	Sumber	Judul	Hasil Penelitian	Catatan
2017	Salim dan Kafiar (2017)	Pembuatan alat penghasil biogas sederhana di Kampung Hawaii Kabupaten Jayapura	Teknologi biogas tampak belum populer di masyarakat Kampung Hawaii di Distrik Sentani Tengah Kabupaten Jayapura. Sementara bahan baku pembuatan biogas (kotoran sapi) tersedia di daerah tersebut. Dalam rangka kegiatan pengabdian masyarakat dilakukan pelatihan pembuatan alat penghasil biogas sederhana.	Berdasarkan jurnal tersebut, alat penghasil biogas dapat dibuat secara sederhana dengan peralatan yang murah sebagai upaya memanfaatkan potensi sumber energi yang tersedia.
2017	Rumbayan (2017)	Introduksi teknologi biogas sebagai energi baru terbarukan untuk masyarakat pedesaan	Potensi bahan biogas di Sulawesi sangat besar khususnya dalam penelitian ini yakni di Desa Kosio. Sebagian besar mata pencaharian masyarakat di daerah ini adalah pertanian dan peternakan. Namun potensi ini belum dimanfaatkan secara optimal. Kurangnya sosialisasi dan kurangnya modal menjadi penyebab utama. Sementara berdasarkan hasil kuesioner dan wawancara menunjukkan bahwa masyarakat daerah setempat memiliki ketertarikan yang besar mengenai pengolahan biogas.	Berdasarkan jurnal tersebut peneliti menginisiasi teknologi biogas dengan membangun proyek contoh biogas.
2017	Purnomo dan Waluyo (2017)	Aplikasi teknologi konversi bahan bakar biogas untuk kelompok ternak sapi potong di Kabupaten Semarang Jawa Tengah	Desa Polosari, Kecamatan Bawen, Kabupaten Semarang terdapat kelompok Tani Ternak Bangun Rejo telah memanfaatkan biogas sebagai sumber energi yang <i>renewable</i> dan telah menghasilkan energi yang cukup besar. Energi ini digunakan sebagai sumber energi untuk memasak (LPG) dan bahan bakar mesin perajang rumput untuk membantu pengelolaan peternakan.	Penelitian ini mengidentifikasi potensi penggunaan biogas. Dalam hal ini Kelompok Tani Ternak Bangun Rejo telah memaksimalkan penggunaan biogas untuk aktivitas memasak dan mengembangkan inovasi baru berupa mesin perajang rumput.
2018	Dewi dan Kholik (2018)	Kajian potensi pemanfaatan biogas sebagai salah satu sumber energi alternatif di Wilayah Magelang	Wilayah Magelang memiliki potensi produksi gas yang sangat besar untuk memenuhi kebutuhan memasak. Peluang produksi gas mencapai 86.690m ³ . Nilai tersebut setara dengan 14.448 tabung LPG dengan berat 3 kg. Diperkirakan dapat memenuhi kebutuhan memasak dalam kurun waktu 1 tahun sekitar 278 rumah tangga.	Jumlah peternak di wilayah Magelang cukup banyak dan memiliki varian hewan ternak yang beragam. Banyaknya gas yang dihasilkan setiap jenis kotoran ternak berbeda-beda. Besarnya peluang ini diharapkan dapat dimanfaatkan secara optimal oleh penduduk setempat.

Tahun	Sumber	Judul	Hasil Penelitian	Catatan
2018	Budiman <i>et al.</i> (2018)	<i>Multiple challenges and opportunities for biogas dissemination in Indonesia</i>	Pada beberapa daerah terpencil program pemanfaatan biogas masih belum terjangkau. Untuk mencapai sumber energi baru terbarukan di Indonesia, pemerintah memberikan subsidi untuk masyarakat pedesaan sehingga dapat menggunakan biogas secara gratis.	Penelitian ini merekomendasikan pemerintah mengubah sistem penyediaan biogas dari mekanisme hibah menjadi model subsidi.
2019	Marendra <i>et al.</i> (2019)	<i>A sustainability assessment of biogas plant based on fruit waste in Indonesia: case study of Biogas Plant Gamping, Yogyakarta</i>	Secara singkat Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Gemah Ripah menghasilkan dampak lingkungan yang rendah terbukti dapat mengurangi CO ₂ yang dilepaskan ke lingkungan. Selain itu, dari sisi ekonomi juga memberikan manfaat ekonomi yang signifikan. Kehadiran pembangkit listrik tersebut juga memberikan manfaat sosial yang baik bagi pekerja, konsumen dan masyarakat setempat. Hal ini menunjukkan bahwa biogas ini dapat dianggap sebagai program ramah lingkungan dengan manfaat sosial ekonomi yang signifikan.	Penelitian ini mencakup analisis lingkungan, ekonomi dan sosial mengenai evaluasi berkelanjutan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Gemah Ripah menggunakan limbah buah di daerah Gamping, D.I. Yogyakarta.
2019	Sally <i>et al.</i> (2019)	Potensi pemanfaatan limbah cair tahu menjadi biogas untuk skala industri rumah tangga di Provinsi Banten	Gas yang terkandung di dalam limbah tahu seperti hidrogen sulfida, karbon dioksida dan gas metana memiliki potensi untuk dimanfaatkan kembali menjadi bahan biogas. Masyarakat telah merasakan manfaatnya baik dari aspek lingkungan, ekonomi, sosial maupun aspek kesehatan dari pembuatan biogas dari limbah tahu.	Limbah cair tahu di Provinsi Banten diolah menjadi produk yang berguna, salah satunya yaitu dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar biogas.
2019	Rajani <i>et al.</i> (2019)	<i>Review on biogas from palm oil mill effluent (POME): challenges and opportunities in Indonesia</i>	POME atau limbah kelapa sawit bisa menjadi salah satu opsi sumber daya energi terbarukan yang cukup menjanjikan di Indonesia jika pengolahan POME tepat dan efisien. Kandungan organik yang tinggi dalam POME telah mendorong POME menjadi sumber yang baik untuk menghasilkan biogas (metana) melalui pencernaan anaerob.	Kelapa sawit di Indonesia merupakan produk pertanian yang paling signifikan dan penting bagi pembangunan ekonomi. Diharapkan Indonesia dapat mengembangkan potensi biogas yang dimiliki dengan didukung upaya pemerintah melalui regulasi yang ada.

Tahun	Sumber	Judul	Hasil Penelitian	Catatan
2020	Romadhona <i>et al.</i> (2020)	Pemanfaatan biogas sebagai sumber alternatif tenaga listrik di BBPTU HPT Baturraden	Dari 232 ekor sapi dihasilkan feses basah sebanyak 6.960 kg darinya dihasilkan biogas sebanyak 125,28 m ³ yang ditampung dalam tujuh tabung penyimpanan. Tujuh tampung tersebut dapat menghasilkan energi listrik sebesar 8.070,12 Watt dan dimanfaatkan untuk penerangan/lampu dengan daya 773 watt.	BBPTU HPT Baturraden memanfaatkan feses sapi perah kemudian diolah menjadi biogas untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik.
2021	Zuas <i>et al.</i> (2021)	<i>Toward quality control of biogas product in Indonesia: an overview</i>	Keberadaan tiga pilar infrastruktur mutu di Indonesia (standardisasi, metrologi dan penilaian kesesuaian) di tingkat nasional telah dihadirkan. Biogas sebagai energi berkelanjutan dapat mencapai keamanan dan pasokan energi, memperbaiki lingkungan, kualitas hidup dan mendorong pertumbuhan ekonomi nasional. Karena pasar biogas domestik atau internasional berkembang pesat, kontrol kualitas biogas yang lebih baik dapat meningkatkan utilitasnya.	Penelitian ini membahas mengenai kontrol kualitas produk akhir biogas. Hal ini menunjukkan pengembangan pembangunan infrastruktur mutu sebagai upaya menjamin keamanan dan kualitas biogas di Indonesia.
2021	Heryadi <i>et al.</i> (2021)	Potensi biogas dan energi dari limbah padat (tandan kosong kelapa sawit/TKKS, serat <i>mesocarp</i> dan lumpur <i>decanter</i>) industri kelapa sawit di Kalimantan Timur	Total biogas yang dihasilkan telah mencapai 8 Giga Watt. Potensi ini telah dimanfaatkan di berbagai sektor, khususnya pemenuhan energi listrik di lingkungan pabrik dan perkebunan kelapa sawit sendiri. Selain itu distribusikan pula dengan lingkungan dan desa sekitarnya. Limbah yang diolah yakni berupa limbah padat seperti serat dan cangkang kelapa sawit.	Potensi pemanfaatan limbah padat Industri kelapa sawit di daerah Kalimantan Timur telah ditinjau dari aspek 4A yakni <i>Availability</i> , <i>Accessibility</i> , <i>Affordability</i> dan <i>Acceptability</i> memiliki potensi yang sangat besar.
2022	Situmeang <i>et al.</i> (2022)	<i>Technological, economics, social and environmental barriers to adoption of small-scale biogas plants: case of Indonesia</i>	Dalam pelaksanaan pengembangan energi terbarukan di Indonesia dalam hal ini biogas masih mengalami banyak tantangan dan hambatan, di antaranya yaitu kendala teknik seperti kesalahan sistem pipa, bahan baku yang belum memadai, kebocoran gas. Selain itu, kurangnya mekanisme keuangan, bantuan subsidi dari pemerintah yang belum memadai. Peran serta masyarakat dalam hal ini juga masih kurang antusias.	Penelitian ini berfokus pada bermacam-macam hambatan pengelolaan biogas di Indonesia dari berbagai sudut pandang dikaitkan dengan kebijakan pemerintah.

Tahun	Sumber	Judul	Hasil Penelitian	Catatan
2022	Pangarso dan Kusdiyantini (2022)	<i>Review</i> potensi pemanfaatan biogas dari limbah cair pabrik kelapa sawit PT Perkebunan Nusantara (PTPN) 5	Limbah cair kelapa sawit atau yang selanjutnya disebut POME atau <i>Palm Oil Mill Effluent</i> dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar gas engine, bahan bakar boiler. Selain itu juga memiliki potensi yang dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk kebutuhan rumah tangga. Berdasarkan hasil perhitungan potensi pembangkitan biogas di pabrik kelapa sawit milik PTPN 5 sebesar 10.374 ton/hari atau sebanding dengan jumlah gas metana sekitar 19.970 kW.	Untuk mengoptimalkan produksi biogas, pengolahan POME dapat dipusatkan di satu lokasi pabrik kelapa sawit.
2022	Aji dan Garside (2022)	Pembuatan <i>digester</i> sebagai peralatan biogas dari limbah kotoran sapi untuk Masyarakat Dukuh Gumirang, Desa Sidomulyo, Kabupaten Blora, Jawa Tengah	Pembuatan satu unit reaktor biogas di Desa Sidomulyo, Kab. Blora, Jawa Tengah dapat menghasilkan biogas sebanyak 1.280 liter berasal dari campuran 80 liter air dan 40 kg limbah kotoran sapi. Adanya pengolahan biogas ini juga memberikan pengaruh positif di lingkungan yakni tidak tercemarnya bau busuk yang menyengat yang berasal dari kotoran sapi.	Sosialisasi dan <i>monitoring</i> mengenai pengelolaan biogas di lingkungan masyarakat penting untuk dilakukan, Hal ini juga dapat mengubah persepsi masyarakat terhadap teknologi biogas.

3.1. Potensi bahan baku organik

Sejumlah bahan baku biomassa yang berasal dari bahan baku limbah organik tersedia melimpah di Indonesia dan dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan biogas. Ketersediaan bahan baku organik tersebut semakin banyak karena pertumbuhan ekonomi dan populasi manusia yang terus meningkat. Limbah organik tersebut di antaranya berupa kotoran hewan ternak, limbah kelapa sawit, limbah pengolahan tahu dan limbah domestik. Limbah-limbah tersebut sering kali dibiarkan tidak dikelola bahkan tidak jarang ditemui dibuang ke lingkungan begitu saja dan dapat menyebabkan masalah yang serius baik bagi lingkungan maupun berdampak buruk pada kesehatan manusia itu sendiri.

3.1.1. Kotoran ternak hewan

Beberapa daerah di Indonesia sebagian besar bermata pencaharian sebagai seorang peternak. Jenis peternakan yang dikembangkan beraneka ragam, diantaranya sapi potong, sapi perah, kuda, kambing, kerbau, domba, babi, kelinci, ayam dan itik. Berdasarkan hasil survei pertanian antar sensus oleh Badan Pusat Statistik (2013), jumlah rumah tangga peternakan di Indonesia mencapai 13,56 juta rumah tangga. Jumlah ini akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya angka permintaan terhadap hewan ternak. Tiap jenis kotoran ternak memiliki potensi produksi gas yang berbeda-beda. Pemanfaatan biogas sebagai pengganti LPG misalnya, diperlukan kotoran ternak sebanyak 2 hingga 3 ekor sapi. Jumlah tersebut setara dengan kotoran 400 ekor ayam atau 6 ekor babi untuk menghasilkan biogas sebanyak 4 m³/hari. Jumlah tersebut dapat mencukupi aktivitas memasak setara dengan 2,5 liter minyak tanah/hari (Wahyuni 2011).

Kualitas dan volume biogas dari kotoran hewan sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti *reactor biodigester*, jenis bahan baku, suhu, pH dan unsur zat lainnya. Selain itu, produksi biogas juga sangat tergantung pada rasio total padatan dan bahan baku limbah. Meskipun memiliki potensi yang besar dalam produksi biogas dari limbah hewan sebagai alternatif potensial untuk sumber daya energi berkelanjutan dan sebagai salah satu solusi untuk pengelolaan limbah hewan, namun penyebaran teknologi tersebut masih rendah di Indonesia (Khalil *et al.* 2019).

Pada sebagian daerah, desain digester sebagai alat pengolah biogas sudah canggih dan memadai, namun sebagian daerah lainnya masih sangat sederhana dan belum cukup layak. Hal ini disebabkan karena pelaksanaan operasi biogas berskala kecil maupun besar masih mengalami banyak hambatan baik dari segi ekonomi, teknis, maupun infrastruktur. Di samping itu, beberapa peternak yang telah memanfaatkan biogas berbahan dasar kotoran ternak, selain merasa terbantu dengan adanya sumber alternatif ini, mereka juga mengeluhkan perihal bau yang dihasilkan dari pipa yang bocor dan pengelolaan yang masih manual yakni perlu usaha keras untuk mengangkut kotoran ke digester. Isu-isu tersebut menjadi tantangan dalam peningkatan pengelolaan biogas untuk menggunakan teknologi yang lebih canggih lagi.

3.1.2. Palm Oil Mill Effluent (POME)

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas perkebunan yang memiliki peran penting dalam kegiatan ekonomi di Indonesia, karena Indonesia merupakan produsen dan eksportir minyak sawit terbesar di dunia (Rajani *et al.* 2019). Berdasarkan data Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (GAPKI) pada 2018, produksi minyak sawit pada tahun 2017 telah mencapai 38,17 juta ton. Jumlah tersebut telah menunjukkan peningkatan produksi sebesar 18% dibandingkan dengan produksi tahun 2016 yang sebesar 35,57 juta ton. Namun di samping itu, produksi air limbah kelapa sawit sangat tinggi dan memiliki potensi yang serius dalam mencemari lingkungan. Residu cair yang dihasilkan terutama selama tiga proses produksi minyak sawit: sterilisasi tandan, setelah pemisahan *kernel* dari cangkang dalam hidrosiklon dan setelah klarifikasi minyak ini yang disebut sebagai *Palm Oil Mill Effluent (POME)* (Garritano *et al.* 2018).

POME mengandung sisa minyak yang dapat merusak organisme akuatik dan mendegradasi tanah melalui infus tanah dan menyebabkan ketidakseimbangan kandungan nutrisi yang dapat menghambat pertumbuhan pohon. Jika POME tidak diolah dengan baik dan dibuang ke lingkungan begitu saja, maka akan menimbulkan dampak yang berbahaya bagi lingkungan. Mengatasi hal tersebut, penggunaan POME sebagai bahan bakar biogas menjadi salah satu solusi yang dapat dimanfaatkan bagi pabrik kelapa sawit untuk mengurangi dampak lingkungan yang disebabkan oleh POME.

Pengolahan POME menjadi sumber energi biogas diperlukan prosedur pengelolaan yang baik. Dalam beberapa kasus, biogas yang dihasilkan selama dekomposisi POME melalui pencernaan anaerob tidak sepenuhnya pulih. Sebaliknya, POME dibiarkan menghilang ke atmosfer, tentunya hal ini tidak hanya menya-nyaiakan pemanfaatan penuh biogas, tetapi juga menyebabkan emisi gas rumah kaca yang mengarah pada polusi udara (Nasir *et al.* 2013). Masalah lain yang terkait dengan produksi *bio-metana* adalah selama pencernaan anaerob. Pada akhir pencernaan anaerob, terdapat potensi tinggi untuk menghasilkan hidrogen sulfida yang sangat beracun, sehingga pembersihan biogas yang tepat diperlukan untuk menghilangkan senyawa beracun ini (Li *et al.* 2014). Teknologi biogas di Indonesia masih dalam tahap pengembangan. Di Kalimantan Timur sudah ada beberapa pabrik kelapa sawit yang memiliki biogas *plant*, namun masih belum terintegrasi dengan baik.

3.1.3. Limbah tahu

Limbah cair yang dihasilkan dari sisa pengolahan tahu dapat menimbulkan pencemaran air apabila dibuang ke sungai atau danau yang dapat menimbulkan dampak buruk bagi kesehatan masyarakat di sekitar sumber air tersebut. Padahal limbah cair tahu yang sudah dianggap tidak berguna ini mengandung bahan organik seperti asam amino dan protein. Selain itu, limbah cair tahu berpotensi sebagai bahan bakar biogas karena mengandung beberapa jenis gas seperti: hidrogen sulfida (H_2S), oksigen (O_2), karbon dioksida (CO_2), amonia (NH_3) dan metana (CH_4) (Ridhuan 2012).

Pabrik tahu berskala kecil, menengah, maupun besar banyak tersebar di seluruh wilayah Indonesia. Pabrik tersebut menyisakan residu pengolahan tahu berupa limbah cair dan limbah padat. Limbah cair tahu berasal dari proses perendaman kedelai, pencucian kedelai, penirisan maupun pemisahan padatan cairan tahu. Hal ini menghasilkan jumlah limbah yang cukup banyak dari total bahan baku (Anwar 2020). Pengelolaan biogas menggunakan limbah cair tahu masih jarang ditemui, sehingga masih perlu digalakkan agar dapat diaplikasikan oleh produsen tahu di Indonesia. Hal ini juga sebagai upaya tercapainya poin nomor 7 dalam *Sustainable Development Goals* (SDGs) yaitu energi yang terjangkau dan bersih. Syarat kapasitas minimum pengolahan limbah cair tahu untuk menjadi biogas kurang lebih sekitar 600 kg.

3.1.4. Limbah domestik (buah-buahan)

Berdasarkan data BPS (2017), jumlah produksi buah dan sayuran di Indonesia pada tahun 2016 mencapai 17,5 juta ton. Jumlah limbah buah dan sayur sejalan dengan jumlah penduduk dan kegiatan ekonomi. Oleh karena itu, diprediksi jumlah limbah makanan nantinya akan terus meningkat. Sebagai upaya pengurangan limbah tersebut, limbah yang ada dialokasikan sebagai sumber energi bahan bakar biogas. Berdasarkan jurnal penelitian, pabrik biogas berbasis limbah buah di Yogyakarta memiliki dampak sosial, lingkungan dan ekonomi yang positif bagi pekerja, konsumen, maupun komunitas lokal. Adanya pabrik limbah ini juga memberikan lapangan pekerjaan bagi masyarakat sekitar. Dampak positif ini sangat diperlukan bagi keberlangsungan pabrik biogas, mengingat aspek sosial merupakan aspek vital dalam pengembangan pengelolaan sampah dan energi terbarukan di Indonesia.

3.2. Kendala yang dialami

Indonesia memiliki potensi dan peluang yang sangat besar untuk menjadikan biogas sebagai salah satu Energi Baru Terbarukan (EBT). Namun, masih banyak kendala yang menjadi penghalang pengembangan biogas seperti kurangnya infrastruktur, modal yang cukup dan kebijakan yang kurang tepat telah menghambat keberhasilan implementasi (Patinvoh dan Taherzadeh 2019). Harga LPG bersubsidi yang relatif rendah juga turut menjadi penyebab kurangnya minat masyarakat terhadap energi alternatif berupa biogas. Selain itu, beberapa tantangan seperti kualitas konstruksi dan material yang berada di bawah standar juga menjadi penyebab kegagalan pengelolaan teknologi biogas. Mayoritas operator biogas belum mendapatkan pelatihan teknis yang memadai tentang produksi biogas.

Melalui PP Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, Kementerian ESDM memiliki program nasional untuk mencapai 23% dari total bauran energi Indonesia pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050 (Budiman *et al.* 2018). Pemerintah menunjukkan aksi kebijakan tersebut dengan memberikan insentif bagi pengembangan energi terbarukan dan melakukan sosialisasi dan *monitoring* kepada masyarakat pedesaan. Namun, upaya sosialisasi ini agaknya belum maksimal dan belum merata di seluruh wilayah Indonesia terutama di daerah-daerah terpencil.

3.3. Upaya yang dilakukan

Sebagai produsen utama minyak sawit, Indonesia memiliki total potensi tahunan untuk menghasilkan 4,35 miliar m³ *bio-metana* dari POME (Dekker dan Dirkse 2019). Selain itu, bahan organik lain yang sudah dikembangkan juga dapat dioptimalkan agar manfaat dari biogas ini dapat dirasakan oleh masyarakat secara lebih luas. Meningkatkan implementasi biogas di Indonesia membutuhkan bantuan teknis dan pelatihan berkelanjutan tentang desain, proses, operasi dan konstruksi *digester*. Selain itu, studi lebih lanjut harus dilakukan untuk lebih mengoptimalkan kinerja *digester* anaerob yang sesuai dengan karakteristik limbah yang dihasilkan secara lokal yang dimanfaatkan untuk produksi *bio-metana* (Amin *et al.* 2022). Kebijakan yang diterapkan oleh negara-negara industri seperti Jerman dan Swedia harus dipelajari untuk mempercepat penyebaran teknologi biogas di daerah maupun perkotaan (Situmeang *et al.* 2022). Dukungan dari pemerintah, organisasi koperasi dan industri semuanya harus didorong. Pemerintah perlu berkolaborasi dengan bisnis untuk mendukung aplikasi dalam skala besar, sehingga dapat meningkatkan teknologi biogas di Indonesia.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Potensi sumber bahan energi biogas yang ada di Indonesia sangat beragam dan melimpah terutama sumber energi yang berasal dari kotoran ternak dan limbah kelapa sawit. Terbukti di beberapa daerah di Indonesia telah berhasil mempergunakan energi biogas yang berasal dari kotoran ternak sebagai pengganti energi fosil dalam aktivitas memasak dan sumber listrik. Indonesia sebagai salah satu negara dengan kegiatan pertanian aktif juga memiliki biomassa berupa limbah kelapa sawit yang sangat potensial yang dapat dikonversi menjadi energi alternatif. Namun sayangnya, pengelolaan dan pemanfaatan biogas sebagai sumber Energi Baru Terbarukan (EBT) belum cukup baik dan merata. Indonesia masih mengalami banyak hambatan dan kendala baik dari segi ekonomi, teknis, maupun infrastruktur.

Monitoring dan sosialisasi di setiap daerah pun belum dilakukan secara optimal. Perlu peran serta dari seluruh pihak baik masyarakat maupun pemerintah agar tercapainya target pengembangan energi baru terbarukan pada tahun 2025. Masyarakat diharapkan turut aktif dan berpartisipasi dalam pengadaan biogas di daerah-daerah dan meningkatkan kesadaran akan urgensi penggantian energi fosil dengan energi alternatif. Pemerintah berperan besar dalam pembuatan kebijakan yang tepat dan efektif tentang pengelolaan dan pemberdayaan teknologi biogas. Program insentif, pelatihan untuk operator biogas, sosialisasi, pemeliharaan dan perbaikan pasca instalasi sangat diperlukan untuk manfaat jangka panjang dan pengembangan teknologi biogas di Indonesia.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada dosen pembimbing dan dosen mata kuliah Falsafah Kesatuan Ilmu yang telah mendukung dan membantu dalam penyusunan artikel ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Adityawarman AC, Salundik LC dan Cyrilla L. 2015. Pengolahan limbah ternak sapi secara sederhana di Desa Pattalassang Kabupaten Sinjai Sulawesi Selatan. *Jurnal Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan* 3(3):171–177.
- Aji F dan Garside AK. 2022. Pembuatan *digester* sebagai peralatan biogas dari limbah kotoran sapi untuk Masyarakat Dukuh Gumirang, Desa Sidomulyo, Kabupaten Blora, Jawa Tengah. *Seminar Keinsinyuran* 3:99–105.
- Alberdi HA, Sagala SAH, Wulandari Y, Srajar SL and Nugraha D. 2018. Biogas implementation as waste management effort in Lembang Sub-district, West Bandung District. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 158(1):1-12.
- Amin MA, Shukor H, Yin LS, Kasim FH, Shoparwe NF, Makhtar MMZ dan Yaser AZ. 2022. Methane biogas production in Malaysia: challenge and future plan. *International Journal of Chemical Engineering* 2022:1-16.
- Anwar A. 2020. Pengolahan limbah cair industri tahu dengan menggunakan biofilter [Skripsi]. Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry. Banda Aceh.

- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2017. Statistik tanaman buah-buahan dan sayuran tahunan Indonesia 2016. Badan Pusat Statistik Indonesia. Jakarta.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2018. Hasil survei pertanian antar sensus (SUTAS) 2018. Badan Pusat Statistik Indonesia. Jakarta.
- Budiman I, Muthahhari R, Kaynak C, Reichwein F and Zhang W. 2018. Multiple challenges and opportunities for biogas dissemination in Indonesia. *Indonesian Journal of Energy* 1(2):127–141.
- Budiman I. 2021. The complexity of barriers to biogas digester dissemination in Indonesia: challenges for agriculture waste management. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 23:1918–1929.
- Dekker H and Dirkse EHM. 2019. POME as a source of biomethane [internet]. Tersedia di: <https://www.bioenergyconsult.com/pome-biogas/>.
- Dewi RP dan Kholik M. 2018. Kajian potensi pemanfaatan biogas sebagai salah satu sumber energi alternatif di Wilayah Magelang. *Journal of Mechanical Engineering* 2(1):8-14.
- [GAPKI] Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia. 2018. Refleksi industri kelapa sawit 2017 dan prospek 2018 [internet]. Tersedia di: <https://gapki.id/news/4140/refleksi-industri-kelapa-sawit-2017-dan-prospek-2018>.
- Garritano AN, Faber MDO, De Sá LRV and Ferreira-Leitão VS. 2018. Palm oil mill effluent (POME) as raw material for biohydrogen and methane production via dark fermentation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 92:676–684.
- Guo J, Qin C and Schmitz G. 2010. Numerical investigation on the performance of spark ignition engine used for electricity production fuelled by natural gas/liquefied petroleum gas-biogas blends with modelica [Proceeding]. 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology (ICCT) 6:682-687.
- Heryadi E, Hermanto dan Susanty A. 2021. Potensi biogas dan energi dari limbah padat (tandan kosong kelapa sawit (TKKS), serat mesocarp dan lumpur decanter) industri kelapa sawit di Kalimantan Timur. *Jurnal Riset Teknologi Industri* 15(2):487–497.
- [IESR] Institute for Essential Services Reform. 2019. Indonesia clean energy outlook: tracking progress and review of clean energy development in Indonesia. Institute for Essential Services Reform. Jakarta.

- [Kementerian ESDM] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2012. Kajian Indonesia energy outlook. Pusat Data dan Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta.
- Khalil M, Berawi MA, Heryanto R and Rizalie A. 2019. Waste to energy technology: the potential of sustainable biogas production from animal waste in Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 105:323–331.
- Li J, Wei L, Duan Q, Hu G and Zhang G. 2014. Semi-continuous anaerobic co-digestion of dairy manure with three crop residues for biogas production. *Bioresource Technology* 156:307–313.
- Marendra F, Prasetya A, Cahyono RB and Ariyanto T. 2019. A sustainability assessment of biogas plant based on fruit waste in Indonesia: case study of Biogas Plant Gamping, Yogyakarta. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 543:1-8.
- Nasir IM, Ghazi TIM, Omar R and Idris A. 2013. Anaerobic digestion of cattle manure: influence of inoculum concentration. *International Journal of Engineering and Technology* 10(1):22-26.
- Nurmalina R dan Riesty S. 2010. Analisis biaya manfaat perusahaan sapi perah dan pemanfaatan limbah untuk menghasilkan biogas pada kondisi risiko (studi kasus: Kecamatan Cisarua dan Megamendung, Kabupaten Bogor, Jawa Barat). *Jurnal Pertanian* 1(1):17–34.
- Pangarso SS dan Kusdiyantini E. 2022. Review potensi pemanfaatan biogas dari limbah cair pabrik kelapa sawit PTPN 5. *Journal of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy* 6(1):18–31.
- Patinvoh RJ and Taherzadeh MJ. 2019. Challenges of biogas implementation in developing countries. *Current Opinion in Environmental Science and Health* 12:30–37.
- PerPres (Peraturan Presiden) Nomor 5 Tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional. PP (Peraturan Pemerintah) Nomor 79 Tahun 2014 tentang kebijakan energi nasional.
- Purnomo BC dan Waluyo B. 2017. Aplikasi teknologi konversi bahan bakar minyak ke bahan bakar biogas untuk kelompok ternak sapi potong di Kabupaten Semarang Jawa Tengah. *Jurnal DIANMAS* 6(1):19–26.

- Rajani A, Kusnadi, Santosa A, Saepudin A, Gobikrishnan S and Andriani D. 2019. Review on biogas from palm oil mill effluent (POME): challenges and opportunities in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 293(012004):1-12.
- Ridhuan K. 2012. Pengolahan limbah cair tahu sebagai energi alternatif biogas yang ramah lingkungan. *Jurnal Program Studi Teknik Mesin* 1(1):1-9.
- Romadhona G, Winarso W dan Mukholik A. 2020. Pemanfaatan biogas sebagai sumber alternatif tenaga listrik di BBPTU HPT Baturraden. *TECHNO: Jurnal Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Purwokerto* 21(1):21-28.
- Rumbayan M. 2017. Introduksi teknologi biogas sebagai energi terbarukan untuk masyarakat pedesaan. *ETHOS: Jurnal Penelitian dan Pengabdian Masyarakat* 5(1):15-21.
- Salim I dan Kafiari F. 2017. Pembuatan alat penghasil biogas sederhana di Kampung Hawaii Kabupaten Jayapura. *Jurnal Pengabdian Papua* 1(2):41-46.
- Sally S, Budianto YP, Hakim MWK dan Kiyat WE. 2019. Potensi pemanfaatan limbah cair tahu menjadi biogas untuk skala industri rumah tangga di Provinsi Banten. *AGROINTEK: Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 13(1):43-53.
- Sitthikhankaew R, Predapitakkun S, Kiattikomol R, Pumhiran S, Assabumrungrat S and Laosiripojana N. 2011. Performance of commercial and modified activated carbons for hydrogen sulfide removal from simulated biogas [Proceeding]. *IEEE Conference on Clean Energy and Technology (CET) 2011*:135-139.
- Situmeang R, Mazancová J and Roubík H. 2022. Technological, economic, social and environmental barriers to adoption of small-scale biogas plants: case of Indonesia. *Energies* 15(14):1-16.
- Wahyuni S. 2011. Biogas energi terbarukan ramah lingkungan dan berkelanjutan [Prosiding]. *Kongres Ilmu Pengetahuan Nasional (KIPNAS) ke 10*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Jakarta.
- Widodo TM, Ahmad Asari, Ana N dan Elita R. 2006. Rekayasa dan pengujian reaktor biogas skala kelompok tani ternak. *Jurnal Enjiniring Pertanian* 4(1):41-52.

Zuas O, Handayani EM, Mulyana MR, Fajria MA, Budiman H, Hindayani A, Tistomo AS, Aritonang AB and Nazarudin N. 2021. Toward quality control of biogas product in Indonesia: an overview. *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry* 4(2):81-90.