

Analisis Keberlanjutan Biogas Skala Mikro di Pedesaan (Studi Kasus di Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat)

Ramdhan Aziz Al Batistuta¹, Arya Hadi Dharmawan¹, dan Bayu Eka Yulian¹

¹Departemen Sains Komunikasi dan Pengembangan Masyarakat, Fakultas Ekologi Manusia, Institut Pertanian Bogor; e-mail: al_batistuta@apps.ipb.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan bioenergi sebagai energi terbarukan sudah mulai menggantikan penggunaan energi fosil secara bertahap. Upaya pemerintah dalam mendukung penggunaan bioenergi dengan membuat program Desa Mandiri Energi di berbagai tempat yang memiliki potensi sumber energi terbarukan. Keberlanjutan bioenergi sangat penting untuk dinilai agar kebutuhan energi saat ini dan kebutuhan energi dimasa yang akan datang dapat terpenuhi. Tujuan dari penulisan ini adalah untuk menganalisis status keberlanjutan biogas, mengidentifikasi atribut sensitif multidimensi keberlanjutan, serta merumuskan strategi pengembangan tata kelola sistem biogas secara berkelanjutan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif yang didukung oleh data kualitatif. Analisis data dilakukan dengan metode *Multi Dimensional Scalling* (MDS), menggunakan modifikasi program Rappfish dengan tinjauan pada lima dimensi yaitu dimensi sosial, ekonomi, lingkungan, teknologi dan kelembagaan. Penelitian ini dilaksanakan di Kampung Ciaul dan Kampung Babakan, Desa Cisondari, Kecamatan Pasir Jambu, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat yang dipilih secara sengaja (*purposive*). Penentuan sampel dengan menggunakan teknik *simple random sampling*. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Instrumen yang digunakan untuk pengumpulan data primer dalam penelitian ini adalah kuisioner dan pertanyaan terstruktur sebagai pedoman dalam melakukan wawancara mendalam. Hasil dari penelitian ini menunjukkan status keberlanjutan biogas secara dimensi sosial, lingkungan, teknologi, dan kelembagaan tergolong cukup berkelanjutan. Keberlanjutan biogas secara dimensi ekonomi tergolong kurang berkelanjutan. Setiap dimensi keberlanjutan terdapat dua atribut sensitif yang mempengaruhi secara signifikan. Atribut sensitif ditentukan berdasarkan nilai *Root Mean Square* (RMS) dari setiap atributnya. Rumusan strategi yang telah disusun berdasarkan atribut sensitif yang sudah ditentukan. Hal ini untuk memprioritaskan strategi-strategi dalam upaya meningkatkan status keberlanjutan biogas.

Kata kunci: Bioenergi, Limbah ternak, *Multi Dimensional Scalling* (MDS), Pembangunan berkelanjutan, Sistem biogas

ABSTRACT

The use of bioenergy as renewable energy has started to gradually replace the use of fossil energy. The government's efforts to support the use of bioenergy by developing a "Desa Mandiri Energi" program in various places has a good potentiality to encourage the evolvement of renewable energy. The sustainability of bioenergy is assessed to understand current energy needs and to see the challenges of bioenergy in the future. The purpose of this paper is to analyze the status of biogas sustainability, to identify sensitive multidimensional sustainability attributes, and to formulate a sustainable development strategy for biogas system governance. The method used in this research is a quantitative method which is supported by qualitative data. Data analysis was performed using the Multi Dimensional Scalling (MDS) method, using a modification of the Rappfish program with a review of five dimensions, namely the social, economic, environmental, technological and institutional dimensions. This research was conducted in Ciaul Village and Babakan Village, Cisondari Village, Pasir Jambu District, Bandung Regency, West Java Province which were chosen purposively. Determination of the sample using simple random sampling technique. The instruments used for primary data collection in this study were questionnaires and structured questions as guidelines for conducting in-depth interviews. The results of this study indicate that the status of biogas sustainability in terms of social, environmental, technological and institutional dimensions is quite sustainable. Biogas sustainability from an economic dimension is classified as less sustainable. Each of the dimensions of sustainability has two attributes that influence it significantly. Sensitive attributes are determined based on the Root Mean Square (RMS) value of each attribute. A development strategy is formulated and is prepared based on the sensitive attributes that have been determined. The strategy is used to improve the status of biogas sustainability.

Keywords: Bioenergy, Livestock waste, Multi Dimensional Scalling (MDS), Sustainable development, Biogas systems

Citation: Batistuta, R.A.A., Dharmawan, A.H., dan Yulian, B.E. (2021). Analisis Keberlanjutan Biogas Skala Mikro di Pedesaan (Studi Kasus di Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(1), 181-190, doi:10.14710/jil.19.1.181-190

1. Pendahuluan

Kehidupan manusia tidak akan pernah lepas dari penggunaan energi. Energi yang digunakan untuk menunjang keberlangsungan hidup manusia seperti energi listrik, cahaya, panas atau kalor, dan energi-energi lainnya. Sebagian besar penduduk dunia hingga *saat ini masih sangat tergantung pada fossil fuel* yang membahayakan bumi. Meskipun ketergantungan pada *fossil fuel* tetap tinggi tetapi telah ada upaya untuk mereduksi peran *fossil fuel* dalam bauran energi sejak 1990an. Melalui berbagai kebijakan transformasi energi, negara-negara di dunia mencoba untuk melepaskan diri dari ketergantungannya pada *fossil fuel* (Blazquez et al. 2020).

Energi yang tersedia di bumi dapat berasal dari sumber energi yang dapat diperbarui dan yang tidak dapat diperbarui. Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia (2018) tercatat konsumsi energi Indonesia pada tahun 2017 mencapai 1,23 miliar *Barrels Oil Equivalent* (BOE), naik sembilan persen dari tahun sebelumnya. Kenaikan ini mencerminkan pertumbuhan ekonomi dan konsumsi yang dipicu oleh meningkatnya daya beli serta kebutuhan masyarakat. Jumlah konsumsi energi terbesar berbentuk Bahan Bakar Minyak (BBM) mencapai 356,33 juta BOE atau 28,88% dari total konsumsi, konsumsi energi terbesar kedua adalah dalam bentuk biomasa sebanyak 306,25 BOE atau 24,82%. Sedangkan, konsumsi *biofuel* baru mencapai 79,43 juta BOE atau 6,44% dari total. Angka-angka ini merefleksikan betapa terjadi kenaikan persoalan energi terhadap perubahan iklim global melalui emisi karbon yang mengkhawatirkan di banyak kawasan. Hanya satu jawaban untuk mengatasi persoalan emisi karbon, yaitu transisi energi menuju energi dengan keterandalan pasokan yang tinggi namun rendah emisi (Bridge et al. 2013).

Pemerintah Republik Indonesia sedang mengupayakan untuk beralih pada penggunaan energi alternatif untuk menghindari permasalahan kelangkaan energi di masa mendatang. Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 mengenai Kebijakan Energi Nasional yang dirumuskan Dewan Energi Nasional (DEN), peran energi baru terbarukan dalam bauran energi pada 2025 sedikitnya sebesar 23 persen. Pada 2050, persinya meningkat menjadi sedikitnya 31 persen. Bioenergi menjadi salah satu solusi kelangkaan *fossil fuel* di masa depan, sekaligus solusi terhadap penyelamatan lingkungan hidup (Souza et al. 2017).

Indonesia menghadapi persoalan kelangkaan energi dan lingkungan hidup terkait emisi karbon, terutama di Kawasan padat penduduk seperti provinsi-provinsi di Pulau Jawa. Solusi untuk mengatasi persoalan lingkungan hidup sekaligus energi terbarukan, telah sejak lama diajukan sebagai usulan konstruktif. Gagasan utamanya adalah tentang efisiensi energi, peningkatan suplai energi yang ramah pada lingkungan serta mampu menjadi solusi konflik lingkungan hidup di kawasan sungai. Salah

satu strategi yang diambil adalah *waste to energy* policy dari hewan ternak dimana kotorannya cenderung berpotensi mengotori badan sungai (Khalil et al. 2019; Roubik dan Mazancova 2020)

Biogas merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang mampu mensubstitusi pemenuhan kebutuhan bahan bakar fosil. Bahan baku biogas dapat dihasilkan dari proses pengolahan limbah peternakan maupun pertanian. Salah satu bahan baku yang dapat menghasilkan biogas adalah kotoran sapi. Kotoran sapi yang tidak diolah dengan baik dan benar dapat berdampak buruk terhadap lingkungan sekitar. Flotats et al. (2009) menyatakan bahwa peternakan intensif dapat mencemari lingkungan melalui pembuangan kotoran ternak ke tanah, air permukaan, serta emisi gas metana ke atmosfer. Insam et al. (2015) mengatakan pemanfaatan energi biogas memberikan beberapa keuntungan, yaitu mengurangi bau kotoran ternak yang tidak sedap, mencegah penyebaran penyakit, mengurangi efek gas rumah kaca, menghasilkan panas dan daya mekanis/listrik, serta memberikan hasil samping berupa pupuk padat dan cair.

Penelitian keberlanjutan biogas limbah ternak yang disusun oleh Rizki (2014) menyimpulkan bahwa hasil analisis secara ekonomis pemanfaatan limbah kotoran ternak dapat dijadikan sebagai sumber biogas yang layak. Hasil analisis secara sosial menyimpulkan biogas memiliki nilai positif terhadap kondisi sosial masyarakat. Variabel yang mempengaruhi keberlanjutan biogas adalah Pengurangan Pengeluaran dan Biaya Aplikasi dari aspek ekonomi, Minat Menggunakan Biogas dan Ketersediaan Tenaga Kerja dari aspek sosial, Pengurangan Pencemaran dan Zero Waste dari aspek lingkungan.

Pada penelitian keberlanjutan biogas, Ristianingsih (2018) menggunakan objek penelitian berupa biogas dari limbah tahu. Dalam penelitiannya, hasil analisis MDS menunjukkan keberlanjutan biogas limbah tahu secara dimensi sosial, ekonomi, ekologi dan kelembagaan berstatus cukup berkelanjutan. Dimensi teknologi berada pada status kurang berkelanjutan. Biogas limbah tahu dipandang efektif sebagai energi alternatif rumah tangga karena mengurangi beban kerja perempuan dan menjadi sarana resolusi konflik antara petani dan pengrajin tahu. Total manfaat ekonomi mencapai Rp 2.058.344.100/tahun namun secara ekonomi nilai tersebut belum efektif sebab biogas hanya dapat memenuhi sekitar 18% rumah tangga dari keseluruhan rumah tangga di Desa Kalisari.

Berdasarkan paparan kutipan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan keberlanjutan biogas, maka peneliti tertarik untuk meneliti keberlanjutan biogas di Desa Cisondari. Desa Cisondari merupakan salah satu desa yang mengembangkan program Desa Mandiri Energi Berbasis Biogas di wilayah Kecamatan Pasir Jambu, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Program Desa Mandiri Energi Berbasis Biogas diselenggarakan untuk menciptakan ketahanan energi di Desa Cisondari dan juga untuk menciptakan lingkungan

yang bersih di DAS Citarum. Desa Cisondari telah memanfaatkan kotoran sapi menjadi energi biogas sejak 2009 lalu. Hingga kini Desa Cisondari sudah memiliki 70 reaktor pengolahan biogas yang masih aktif digunakan baik oleh perorangan maupun kolektif untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga seperti memasak ataupun listrik.

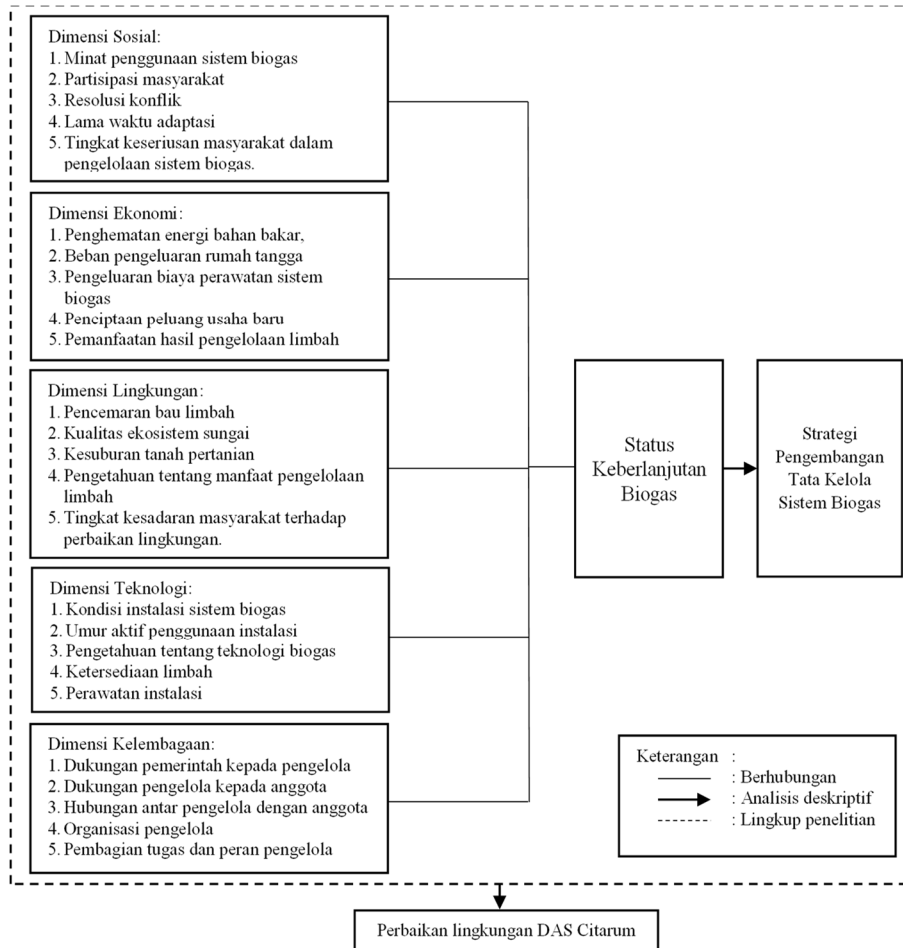
Kajian mengenai keberlanjutan biogas diperlukan untuk mewujudkan kemandirian energi pedesaan yang berkelanjutan. Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Menganalisis status keberlanjutan sistem biogas Desa Cisondari multidimensi keberlanjutan (dimensi sosial, ekonomi, lingkungan, teknologi, dan kelembagaan).
2. Mengidentifikasi atribut sensitif pada masing masing multidimensi keberlanjutan.
3. Merumuskan strategi tata kelola sistem biogas Desa Cisondari mengacu pada atribut sensitif multidimensi keberlanjutan.

1.1. Kerangka Pemikiran

Pemanfaatan kotoran sapi menjadi biogas merupakan sistem yang dapat berdampak pada kehidupan

manusia. Dampak yang diberikan oleh sistem ini dapat diukur dengan analisis status keberlanjutan sistem tersebut. Status keberlanjutan suatu sistem dapat dilihat dari tiap dimensi keberlanjutan. Munasinghe (1993) menyatakan bahwa penerapan konsep pembangunan berkelanjutan dalam suatu kegiatan pembangunan menjadi lebih komprehensif untuk menjelaskan pengertian dari suatu kegiatan dikatakan berkelanjutan. Dalam menganalisis status keberlanjutan sistem biogas dalam penelitian ini menggunakan pendekatan *Multidimension Scalling* (MDS). Menurut Alder et al. (2000) MDS adalah teknik untuk menganalisis kemiripan atau ketidakmiripan data pada satu set objek dalam bentuk peta. Dimensi keberlanjutan yang digunakan dalam menganalisis status keberlanjutan sistem biogas ini yaitu dimensi sosial, dimensi ekonomi, dan dimensi lingkungan. Penilaian tiap dimensi keberlanjutan dilihat dari penilaian atribut-atribut dalam masing-masing dimensi. Berdasarkan landasan teoritis di atas maka dapat dirumuskan suatu kerangka analisis yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Pemikiran Analisis Keberlanjutan Biogas Menurut Dimensi Sosial, Ekonomi, Lingkungan, Teknologi, dan Kelembagaan di Desa Cisondari

1.2. Hipotesis

Berdasarkan kerangka yang telah dibuat pada Gambar 1, maka hipotesis yang diajukan peneliti sebagai berikut.

1. Diduga sistem biogas Desa Cisondari dikatakan berkelanjutan secara multidimensi keberlanjutan

(sosial, ekonomi, lingkungan, teknologi, dan kelembagaan).

2. Diduga rumusan strategi pengembangan tata kelola sistem biogas yang mengacu pada atribut sensitif dapat meningkatkan status keberlanjutan biogas Desa Cisondari.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian dengan pendekatan kuantitatif yang didukung dengan pendekatan kualitatif untuk memperoleh data dan informasi yang dibutuhkan. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk menganalisis status keberlanjutan secara terukur dan obyektif dalam penelitian. Pendekatan penelitian kualitatif diperlukan guna mengambil data yang bersifat deskriptif yakni berupa fenomena sosial yang dikategorikan ataupun dalam bentuk lainnya, seperti catatan harian, dokumen kependudukan, foto, dan literatur lainnya pada saat dilakukan penelitian.

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kampung Ciaul dan Kampung Babakan, Desa Cisondari, Kecamatan Pasir Jambu, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat. Kegiatan penelitian ini dilaksanakan dalam jangka waktu satu tahun, terhitung mulai bulan Januari 2020 sampai Januari 2021. Pemilihan lokasi ini dilakukan secara sengaja (*purposive*) dengan beberapa pertimbangan meliputi:

1. Dari tiga kampung yang terdapat di wilayah Desa Cisondari yaitu Kampung Ciaul, Kampung Babakan, serta Kampung Barusen. Kampung Ciaul dan Kampung Babakan merupakan Kampung dengan jumlah reaktor biogas yang banyak dibandingkan dengan kampung-kampung lainnya yang ada di wilayah Desa Cisondari.
2. Pemilihan lokasi di Kampung Ciaul dan Kampung Babakan dilakukan karena di lokasi tersebut terdapat banyak peternak.
3. Masyarakat Kampung Ciaul dan Kampung Babakan, Desa Cisondari, telah diberikan penyuluhan dan bantuan oleh pihak Pemerintah Kabupaten Bandung sebagai desa percontohan pengembangan program Desa Mandiri Energi Berbasis Biogas.

2.2. Teknik Pemilihan Responden dan Informan

Populasi penelitian ini adalah rumah tangga pemilik ternak yang berdomisili di Kampung Ciaul dan Kampung Babakan, Desa Cisondari, Kecamatan Pasir Jambu, Kabupaten Bandung, Jawa Barat yang berjumlah 70 rumah tangga. Sampel dalam penelitian ini adalah anggota dari populasi yang menjadi sumber data penelitian yakni rumah tangga peternak yang memanfaatkan limbah ternaknya menjadi biogas. Berdasarkan kerangka sampling kemudian ditentukan sampel penelitian sebanyak 35 rumah tangga menggunakan teknik *simple random sampling*. Adapun informan dalam penelitian ini merupakan petinggi desa, kelompok ternak, tokoh maupun pemerintah Desa Cisondari. Unit analisis penelitian ini adalah rumah tangga petani yang memiliki sistem biogas.

2.3. Data dan Instrumen

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung oleh peneliti di lokasi penelitian melalui wawancara

mendalam dengan informan, observasi/pengamatan langsung di lapangan untuk mengumpulkan data. Sedangkan data sekunder merupakan data yang dapat diperoleh dari lembaga terkait seperti perangkat pemerintah desa dan kelompok ternak seperti profil desa, profil ternak, data kontrol reaktor biogas, dll. Selain itu data sekunder pun diperoleh melalui kajian pustaka yang berupa jurnal dan buku serta analisis literatur lainnya yang berkaitan dengan penelitian.

Instrumen yang digunakan untuk pengumpulan data primer dalam penelitian ini adalah kuisisioner dan pertanyaan terstruktur sebagai pedoman dalam melakukan wawancara mendalam. Hasil dari pertanyaan terstruktur akan digunakan untuk mengumpulkan data kualitatif, sedangkan hasil dari kuisisioner akan digunakan untuk mengumpulkan data kuantitatif. Pertanyaan yang disajikan dalam kuisisioner merupakan pertanyaan yang terkait langsung dengan tujuan, hipotesis penelitian dan variabel yang diukur.

2.4. Analisis Data

Pendekatan sederhana yang dapat digunakan untuk evaluasi status keberlanjutan tersebut adalah *Rapfish* (Fauzi dan Anna 2002). *Rapfish* didasarkan pada teknik ordinasasi (menempatkan sesuatu pada urutan atribut yang terukur) dengan *Multi-Dimensional Scalling* (MDS). MDS merupakan teknik statistik yang mencoba melakukan transformasi multidimensi ke dalam dimensi yang lebih rendah. Alder et al. (2000) menyatakan tahapan data dalam analisis status berkelanjutan adalah:

1. Penentuan atribut.
2. Pemberian skor pada kriteria atribut.
3. Analisis ordonansi MDS pada setiap atribut untuk menilai indeks dan status keberlanjutan.
4. Penilaian indeks dan status keberlanjutan pada setiap dimensi. Kategori nilai terdiri dari 4 kategori jika nilai indeks 0,00-25,0 memiliki kategori tidak berkelanjutan. Nilai indeks 25,01-50,00 memiliki kategori kurang berkelanjutan. Nilai indeks 50,01-75,00 memiliki kategori cukup berkelanjutan dan nilai indeks 75,01-100,0 berkategori sangat berkelanjutan.
5. Analisis sensitivitas (*leverage analysis*) untuk mengidentifikasi atribut yang paling sensitif yang berpengaruh terhadap indeks keberlanjutan
6. Analisis Monte Carlo untuk melihat pengaruh kesalahan dalam pembuatan skor pada setiap atribut di masing-masing dimensi dengan selang kepercayaan 95%.
7. Penilaian ketetapan (*goodness of fit*) dilakukan untuk melihat besaran nilai stress atau R^2 . Model yang baik ditunjukkan dengan nilai stress yang lebih kecil dari 0,25 dan R^2 yang mendekati 1.

Data kuantitatif diolah menggunakan aplikasi *Microsoft Excel 2013* dan *Rapfish*. Aplikasi *Microsoft Excel 2013* digunakan untuk membuat tabel frekuensi. Setelah itu dimasukkan ke *Rapfish* untuk menentukan indeks keberlanjutan sistem biogas. Data kualitatif dianalisis melalui tiga tahap yaitu reduksi data, penyajian data, dan verifikasi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Status Keberlanjutan Biogas Desa Cisondari

3.1.1. Status Keberlanjutan Biogas Dimensi Sosial

Hasil analisis MDS dengan menggunakan *Rapfish* menunjukkan bahwa nilai indeks keberlanjutan biogas di Desa Cisondari dimensi sosial sebesar 64,56 (lihat Tabel 1). Nilai indeks keberlanjutan biogas di Desa Cisondari dimensi sosial menunjukkan statusnya yang cukup berkelanjutan. Bahkan angka tersebut menunjukkan bahwa secara sosial, biogas dapat diterima oleh responden atau warga masyarakat.

Tabel 1. Rataan Skor Berdasarkan Atribut Dimensi Sosial pada Analisis Keberlanjutan Biogas

No	Atribut Dimensi Sosial	Rataan skor	Keterangan
1	Minat penggunaan sistem biogas	3,80	(1) Sangat rendah; (2) Rendah; (3) Cukup; (4) Tinggi; (5) Sangat tinggi
2	Partisipasi masyarakat	3,94	(1) Sangat rendah; (2) Rendah; (3) Cukup; (4) Tinggi; (5) Sangat tinggi
3	Kemampuan sebagai resolusi konflik	3,77	(1) Tidak ada; (2) Sangat kecil; (3) Kecil; (4) Besar; (5) Sangat besar
4	Lama waktu adaptasi	4,71	(1) Sangat lama; (2) Lama; (3) Cukup; (4) Singkat; (5) Sangat singkat
5	Tingkat keseriusan masyarakat dalam pengelolaan sistem biogas	4,11	(1) Sangat rendah; (2) Rendah; (3) Cukup; (4) Tinggi; (5) Sangat tinggi

Secara agregat, pada dimensi sosial, keseluruhan atribut memiliki nilai diatas rata-rata. Yang artinya, masyarakat setempat responsif terhadap inovasi biogas. Mereka antusias dalam pengelolaan biogas. Biogas dapat menjadi solusi perselisihan lingkungan.

3.1.2. Status Keberlanjutan Biogas Dimensi Ekonomi

Hasil analisis MDS dengan menggunakan *Rapfish* menunjukkan bahwa nilai indeks keberlanjutan biogas di Desa Cisondari dimensi ekonomi sebesar 42,59 (lihat Tabel 2). Nilai indeks keberlanjutan biogas di Desa Cisondari dari dimensi ekonomi menunjukkan status kurang berkelanjutan.

Secara agregat pada dimensi ekonomi tampak bahwa angka capaian keberlanjutannya relatif lebih rendah bila dibandingkan pada angka keberlanjutan pada dimensi sosial. Hal yang menyebabkan kurang baiknya kinerja ekonomi biogas adalah bahwa dimensi ekonomi menghadapi dua permasalahan penting berupa ketidakmampuan biogas dalam menciptakan peluang usaha bagi penggunanya. Disamping itu, kemampuan ekonomi peternak yang masih rendah dalam membiayai pemeliharaan instalasi biogas. Keduanya merupakan penyebab kekurangberlanjutan di bidang ekonomi. Namun

demikian, biogas secara ekonomi dapat menekan biaya pengeluaran energi rumah tangga. Hal ini yang menjadi keunggulan biogas. Secara keseluruhan, keberlanjutan biogas pada dimensi ekonomi akan lebih baik apabila biaya investasi dan pemeliharaan dapat ditekan tetap rendah sepanjang waktu.

Tabel 2. Rataan Skor Berdasarkan Atribut Dimensi Ekonomi pada Analisis Keberlanjutan Biogas

No	Atribut Dimensi Ekonomi	Rataan skor	Keterangan
1	Penghematan energi bahan bakar fossil	4,14	(1) Tidak ada; (2) Sangat kecil; (3) Kecil; (4) Besar; (5) Sangat besar
2	Beban pengeluaran rumah tangga	3,66	(1) Tidak ada; (2) Sangat kecil; (3) Kecil; (4) Besar; (5) Sangat besar
3	Pengeluaran biaya perawatan sistem biogas	1,43	(1) Tidak ada; (2) Sangat kecil; (3) Kecil; (4) Besar; (5) Sangat besar
4	Penciptaan peluang usaha baru	1,46	(1) Tidak ada; (2) Sangat kecil; (3) Kecil; (4) Besar; (5) Sangat besar
5	Pemanfaatan hasil pengelolaan limbah ternak	4,63	(1) Sangat tidak memanfaatkan; (2) Tidak memanfaatkan; (3) Cukup memanfaatkan; (4) Memanfaatkan; (5) Sangat memanfaatkan

3.1.3. Status Keberlanjutan Biogas Dimensi Lingkungan

Hasil analisis MDS dengan menggunakan *Rapfish* menunjukkan bahwa nilai indeks keberlanjutan biogas di Desa Cisondari untuk dimensi lingkungan sebesar 56,35 (lihat Tabel 3).

Tabel 3. Rataan Skor Berdasarkan Atribut Dimensi Lingkungan pada Analisis Keberlanjutan Biogas

No	Atribut Dimensi Lingkungan	Rataan skor	Keterangan
1	Pencemaran bau limbah	3,48	(1) Sangat bau; (2) Bau; (3) Biasa saja; (4) Tidak bau; (5) Sangat tidak bau
2	Kualitas ekosistem sungai	4,17	(1) Sangat buruk; (2) Buruk; (3) Netral; (4) Baik; (5) Sangat baik
3	Kesuburan tanah pertanian	3,71	(1) Sangat buruk; (2) Buruk; (3) Netral; (4) Baik; (5) Sangat baik
4	Pengetahuan tentang manfaat pengelolaan limbah	3,00	(1) Sangat rendah; (2) Rendah; (3) Cukup; (4) Tinggi; (5) Sangat tinggi
5	Tingkat kesadaran masyarakat terhadap perbaikan lingkungan	4,20	(1) Sangat tidak penting; (2) Tidak penting; (3) Cukup; (4) Penting; (5) Sangat penting

Nilai indeks keberlanjutan biogas di Desa Cisondari untuk dimensi lingkungan sebesar itu

diartikan bahwa statusnya cukup berkelanjutan. Secara agregat, keberlanjutan biogas dari dimensi lingkungan cukup baik karena diatas rata rata. Biogas dapat memperbaiki kualitas lingkungan hidup pada ekosistem setempat. Sama seperti dimensi sosial, angka pencapaian keberlanjutan lingkungan juga relatif lebih baik daripada dimensi ekonomi. Untuk sementara boleh dikatakan bahwa secara sosial dan ekologis atau lingkungan hidup, biogas memiliki keunggulan yang tidak diragukan keberlanjutannya.

3.1.4. Status Keberlanjutan Biogas Dimensi Teknologi

Hasil analisis MDS dengan menggunakan Rappfish menunjukkan bahwa nilai indeks keberlanjutan biogas di Desa Cisondari dimensi teknologi sebesar 55,73 (lihat Tabel 4). Nilai indeks keberlanjutan biogas di Desa Cisondari untuk dimensi teknologi menunjukkan status cukup berkelanjutan.

Tabel 4. Rataan Skor Berdasarkan Atribut Dimensi Teknologi pada Analisis Keberlanjutan Biogas

No	Atribut Dimensi Teknologi	Rataan skor	Keterangan
1	Kondisi instalasi sistem biogas	3,31	(1) Sangat buruk; (2) Buruk; (3) Netral; (4) Baik; (5) Sangat baik
2	Umur aktif penggunaan instalasi	1,97	(1) Sangat singkat; (2) Singkat; (3) Netral; (4) Lama; (5) Sangat lama
3	Pengetahuan tentang teknologi biogas	4,26	(1) Sangat rendah; (2) Rendah; (3) Cukup; (4) Tinggi; (5) Sangat tinggi
4	Ketersediaan limbah bahan baku biogas	4,14	(1) Tidak tersedia; (2) Sangat sedikit; (3) Sedikit; (4) Banyak; (5) Sangat banyak
5	Perawatan instalasi	4,20	(1) Sangat rendah; (2) Rendah; (3) Cukup; (4) Tinggi; (5) Sangat tinggi

Secara agregat capaian keberlanjutan biogas untuk dimensi teknologi dapat dikatakan berkelanjutan. Namun terdapat permasalahan pada umur penggunaan instalasi yang relatif tidak bertahan lama. Kemampuan dan keterampilan peternak dalam menguasai teknik pemeliharaan instalasi biogas yang rendah menyebabkan keberlanjutan biogas kurang baik. Keberlanjutan dimensi teknologi bisa lebih ditingkatkan apabila pengguna diberikan pengetahuan dan keterampilan teknik pemeliharaan *bio-digester*.

3.1.5. Status Keberlanjutan Biogas Dimensi Kelembagaan

Hasil analisis MDS dengan menggunakan Rappfish menunjukkan bahwa nilai indeks keberlanjutan biogas di Desa Cisondari dimensi kelembagaan sebesar 53,46 (lihat Tabel 5). Nilai indeks keberlanjutan biogas di Desa Cisondari untuk dimensi kelembagaan menunjukkan status cukup berkelanjutan. Hal ini mengindikasikan bahwa secara

kelembagaan, masyarakat siap untuk menjalankan biogas.

Tabel 5. Rataan Skor Berdasarkan Atribut Dimensi Kelembagaan pada Analisis Keberlanjutan Biogas

No	Atribut Dimensi Kelembagaan	Rataan skor	Keterangan
1	Dukungan pemerintah kepada pengelola	2,60	(1) Sangat rendah; (2) Rendah; (3) Cukup; (4) Tinggi; (5) Sangat tinggi
2	Dukungan pengelola kepada anggota	3,37	(1) Sangat rendah; (2) Rendah; (3) Cukup; (4) Tinggi; (5) Sangat tinggi
3	Hubungan antar pengelola dengan anggota	4,14	(1) Sangat buruk; (2) Buruk; (3) Netral; (4) Baik; (5) Sangat baik
4	Organisasi pengelola	3,51	(1) Sangat tidak aktif; (2) Tidak aktif; (3) Biasa saja; (4) Aktif; (5) Sangat aktif
5	Pembagian tugas dan peran pengelola	3,20	(1) Sangat tidak merata; (2) Tidak merata; (3) Cukup merata; (4) Merata; (5) Sangat merata

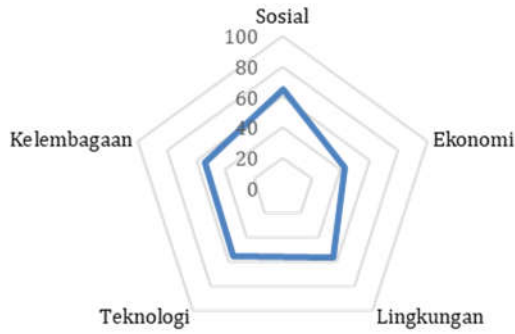
Secara agregat, angka keberlanjutan biogas pada dimensi kelembagaan sudah cukup baik. Namun terdapat permasalahan karena dukungan teknis dari pemerintah dirasakan belum baik oleh warga setempat. Keberlanjutan dimensi kelembagaan akan baik apabila pemerintah meningkatkan dukungan teknis kepada peternak pengguna biogas.

Ketika analisis setiap dimensi yang telah dilakukan saling diperbandingkan dan dirata-ratakan, maka nilai indeks keberlanjutan MDS biogas di Desa Cisondari secara rata-rata sebesar 54,53. Status keberlanjutan secara agregat untuk semua dimensi keberlanjutan biogas di Desa Cisondari pada penelitian ini berada pada status cukup berkelanjutan yang disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai MDS Berdasarkan Dimensi Keberlanjutan Biogas Desa Cisondari

No	Dimensi	MDS
1.	Sosial	64,56
2.	Ekonomi	42,59
3.	Lingkungan	56,35
4.	Teknologi	55,73
5.	Kelembagaan Multidimensi	53,46

Perbandingan nilai indeks keberlanjutan antar dimensi dapat dilihat pada diagram pentagonal di bawah ini. Gambar 2 menampilkan perbandingan nilai indeks keberlanjutan biogas Desa Cisondari, dimana tampak bahwa dimensi ekonomi menghadapi permasalahan yang paling serius.



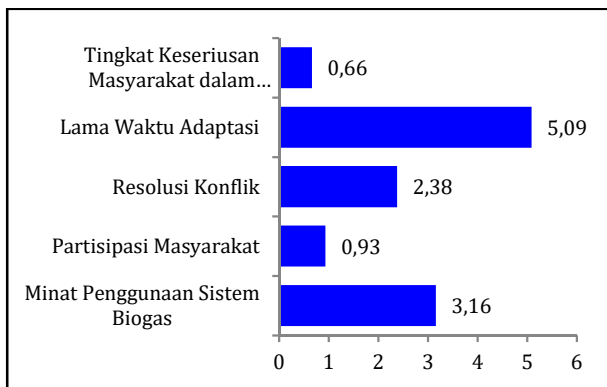
Gambar 2. Perbandingan Nilai Indeks Keberlanjutan Biogas di Desa Cisondari

3.2. Atribut Sensitif Keberlanjutan Biogas Desa Cisondari

Analisis atribut sensitif pada setiap dimensi pada penelitian ini menggunakan analisis leverage. Atribut sensitif dalam penelitian ini merupakan atribut yang dapat mempengaruhi penilaian terhadap indeks keberlanjutan maupun nilai indeks dimensi keberlanjutan sistem biogas. Proses lebih lanjutnya, atribut sensitif ini bisa dipakai sebagai acuan dalam menyusun kebijakan atau strategi pengembangan dalam pengelolaan sistem biogas Desa Cisondari. Atribut sensitif ditentukan berdasarkan nilai *Root Mean Square* (RMS) dari setiap atributnya. Dalam satu dimensi akan dipilih 2 atribut sensitif yang memiliki nilai RMS diatas nilai tengah atau median nilai RMS satu dimensi. Atribut yang sudah ditentukan dinilai menjadi prioritas untuk selanjutnya dikembangkan oleh pihak-pihak terkait.

3.2.1. Atribut Sensitif Dimensi Sosial

Nilai median pada dimensi sosial hasil pengukuran adalah 2,38. Dari capaian angka tersebut, atribut sensitif pada dimensi sosial yang tertinggi pada Gambar 3 adalah lama waktu yang dibutuhkan untuk beradaptasi (5,09) dan minat penggunaan sistem biogas (3,16).

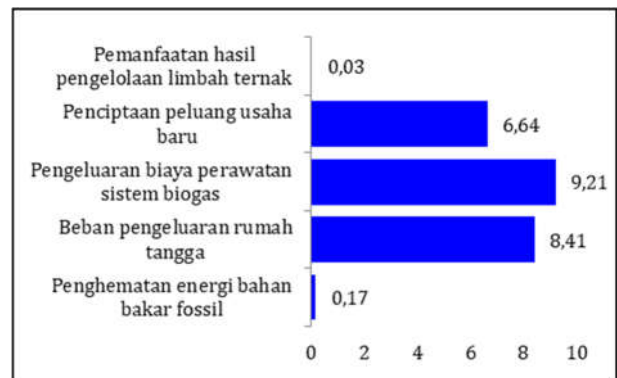


Gambar 3. Nilai Root Mean Square Setiap Atribut pada Dimensi Sosial pada Analisis Keberlanjutan Biogas

Atribut sensitif pertama dalam dimensi sosial yang berpengaruh terhadap keberlanjutan yaitu lama waktu adaptasi (5,09). Hal ini disebabkan atribut lama waktu adaptasi dapat mempengaruhi kapasitas pengetahuan para responden mengenai cara kerja sistem biogas yang dimilikinya. Atribut sensitif kedua dalam dimensi sosial yang berpengaruh terhadap keberlanjutan yaitu minat penggunaan sistem biogas (3,16). Minat para responden muncul ketika para responden melihat beberapa keuntungan yang dihasilkan sistem biogas milik keluarga atau warga disekitarnya. Kedua atribut menjadi penciri penting untuk pengukuran keberlanjutan dimensi sosial. Artinya, ihwal adaptasi dan minat terhadap biogas menjadi faktor penentu yang penting dalam memastikan keberlanjutan biogas di desa tersebut.

3.2.2. Atribut Sensitif Dimensi Ekonomi

Nilai median hasil pengukuran RMS pada dimensi ekonomi adalah 6,64 (lihat Gambar 4). Dari capaian angka tersebut, diketahui bahwa atribut sensitif pada dimensi ekonomi adalah pengeluaran biaya perawatan sistem biogas (9,21) dan beban pengeluaran rumah tangga (8,41).

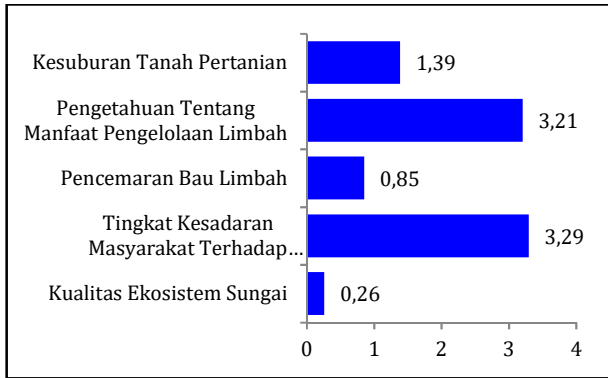


Gambar 4. Nilai Root Mean Square Setiap Atribut pada Dimensi Ekonomi pada Analisis Keberlanjutan Biogas, Desa Cisondari

Atribut sensitif pertama dalam dimensi ekonomi yang berpengaruh terhadap keberlanjutan yaitu pengeluaran biaya perawatan pada sistem jaringan biogas (9,21). Banyaknya jaringan biogas yang rusak di Desa Cisondari membuat atribut ini menjadi mengemuka karena warga merasa perlu peningkatan biaya pemeliharaan. Perawatan sistem biogas yang dilakukan harus ditingkatkan dengan cara merawat yang lebih intensif. Atribut sensitif kedua dalam dimensi ekonomi yang berpengaruh terhadap keberlanjutan yaitu berkurangnya beban pengeluaran rumah tangga (8,41) terhadap konsumsi energi. Atribut ini merupakan salah satu atribut yang menjadi alasan utama para responden berminat memiliki sistem jaringan biogas. Kedepan, sebaiknya sistem biogas dapat ditingkatkan menjadi peluang usaha kecil baru yang bisa menghasilkan pendapatan sekaligus mengurangi beban pengeluaran rumah tangga secara nyata.

3.2.3. Atribut Sensitif Dimensi Lingkungan

Nilai penghitungan median RMS pada dimensi lingkungan yaitu 1,39 (lihat Gambar 5). Angka ini menunjukkan bahwa, atribut sensitif pada dimensi lingkungan paling penting adalah tingkat kesadaran masyarakat yang semakin kuat bahwa biogas mampu memperbaiki lingkungan hidup (3,29). Atribut kedua adalah pengetahuan tentang manfaat pengelolaan limbah (3,21) yang cukup baik.



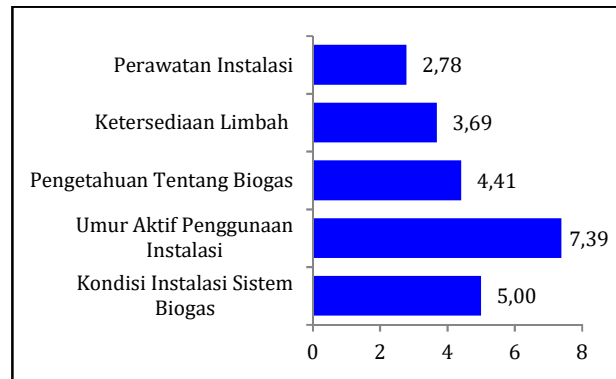
Gambar 5. Nilai Root Mean Square Setiap Atribut pada Dimensi Lingkungan pada Analisis Keberlanjutan Biogas

Atribut sensitif pertama dalam dimensi lingkungan yang berpengaruh terhadap keberlanjutan biogas yaitu tingkat kesadaran responden atau masyarakat terhadap kemampuan biogas sebagai agen perbaikan lingkungan hidup (3,29). Atribut ini menjadi penting ditingkatkan disini kemampuan lain untuk dapat mendukung perbaikan banyak instalasi sistem biogas yang rusak atau tidak terpakai oleh para responden. Atribut sensitif kedua dalam dimensi lingkungan yang berpengaruh terhadap keberlanjutan yaitu pengetahuan tentang manfaat pengelolaan limbah (3,21). Penyebab atribut menjadi tinggi dan termasuk sebagai atribut sensitif adalah karena para responden dirasakan masih perlu meningkatkan kesadaran akan manfaat yang dihasilkan sistem biogas di lingkungannya.

3.2.4. Atribut Sensitif Dimensi Teknologi

Nilai hasil median pengolahan RMS pada dimensi teknologi yaitu 4,41 (lihat Gambar 6). Angka ini mengantarkan, atribut sensitif pada dimensi teknologi adalah umur aktif penggunaan instalasi (7,39) dan kondisi instalasi sistem biogas (5,00).

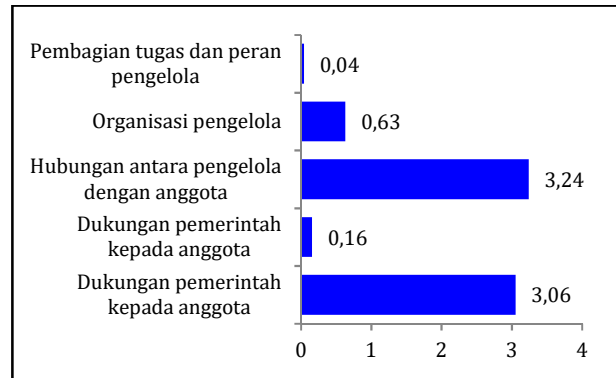
Atribut sensitif pertama dalam dimensi teknologi yang berpengaruh terhadap keberlanjutan yaitu umur aktif penggunaan instalasi (7,39). Keberlanjutan tidak akan tercipta apabila masa aktif sistem biogas hanya sebentar. Atribut sensitif kedua dalam dimensi teknologi yang berpengaruh terhadap keberlanjutan yaitu kondisi instalasi sistem biogas (5,00). Para responden tidak dapat memanfaatkan hasil sistem biogas apabila kondisi sistem biogas dalam keadaan yang tidak baik. Dari fakta ini diperoleh pemahaman bahwa penguasaan teknik pemeliharaan jaringan dan teknologi biogas yang mudah dioperasikan di lapangan sangat menentukan keberlanjutan lingkungan dari biogas.



Gambar 6. Nilai Root Mean Square Setiap Atribut pada Dimensi Teknologi pada Analisis Keberlanjutan Biogas

3.2.5. Atribut Sensitif Dimensi Kelembagaan

Nilai hasil penghitungan median RMS pada dimensi kelembagaan yaitu 0,63 (lihat Gambar 7) Dari perhitungan tersebut dapat dinyatakan bahwa, atribut sensitif pada dimensi kelembagaan adalah hubungan antara pengelola dengan anggota (3,24) dan dukungan pemerintah kepada anggota (3,06).



Gambar 7. Nilai Root Mean Square Setiap Atribut pada Dimensi Kelembagaan pada Analisis Keberlanjutan Biogas

Atribut sensitif pertama dalam dimensi kelembagaan yang berpengaruh terhadap keberlanjutan yaitu hubungan antara pengelola dengan anggota (3,24). Hubungan antara pengelola biogas dengan anggota kelompok biogas menjadi atribut sensitif karena pengelolaan sistem biogas yang dilakukan secara bersama akan lebih baik. Atribut sensitif kedua dalam dimensi kelembagaan yang berpengaruh terhadap keberlanjutan yaitu dukungan pemerintah kepada anggota kelompok biogas (3,06). Kurangnya perhatian dari pemerintah akan membuat para responden sudah kehilangan minat untuk mengelola sistem biogas di desa mereka.

3.3. Strategi Pengembangan Tata Kelola Sistem Biogas Desa Cisondari Secara Berkelanjutan

Hasil dari menganalisis keberlanjutan dapat dijadikan sebagai bahan acuan untuk merancang strategi pengembangan. Perancangan strategi pengembangan tata kelola biogas telah dihasilkan dari berbagai penelitian terdahulu seperti penelitian yang dilakukan Triwahyuni (2015) menyatakan strategi yang paling tepat untuk keberlanjutan pemanfaatan energi alternatif biogas yaitu Penetapan *leading*

sector, Penyusunan *grand design* atau kerangka konseptual yang terintegrasi, dan Pentahapan pelaksanaan yang jelas pada tiap intervensi. Penelitian oleh Emerseon et. al (2020) menyatakan diperoleh tujuh alternatif strategi yaitu Meningkatkan produktifitas kinerja, Meningkatkan pengetahuan dan optimasi manajemen, Optimalisasi riset, Penyusunan kerangka konseptual terintegrasi, Optimasi saran dan prasarana, Memfasilitasi penelitian limbah cair menjadi biogas di industri tapioka dan Sosialisasi mengenai keunggulan biogas dan mengatur pengelolaannya kepada masyarakat.

Penetapan strategi untuk mengembangkan tata kelola biogas dapat dilakukan dengan metode PPA (*Participatory Prospective Analysis*). Metode PPA dapat dilakukan oleh pihak yang terkait dengan pengelolaan sistem biogas seperti pemerintah daerah, pengelola teknis, pengelola kelompok, dan anggota kelompok atau pengguna sistem biogas. Strategi pengembangan tata kelola biogas di Desa Cisondari yang berdasarkan pada atribut sensitif dijelaskan sebagai berikut.

3.3.1. Dimensi Sosial

Pertama, membuat rancangan sosialisasi mengenai pengenalan materi peralatan sampai kepada teknis operasional pengelolaan sistem biogas secara rutin. Akses informasi dan lamanya pengalaman membuat pengguna biogas dapat lebih baik selama menggunakan sistem biogas. Sosialisasi materi sistem biogas secara rutin akan menambah wawasan para pengguna sistem biogas untuk tetap menjaga dan merawat sistem biogas miliknya. Kedua, membuat pertemuan rutin dalam kelompok pengguna biogas. Hubungan erat yang tercipta diantara anggota dapat menjaga minat para anggota untuk tetap menggunakan sistem biogas miliknya.

3.3.2. Dimensi Ekonomi

Pertama, membuat sistem tabungan ekonomi dalam kelompok. Perawatan pada sistem biogas tentunya membutuhkan biaya yang cukup untuk membuat sistem biogas miliknya tetap berfungsi dengan baik. Tujuannya untuk mengantisipasi pengeluaran yang besar untuk perawatan maupun perbaikan. Kedua, melakukan pendekatan secara personal agar masyarakat tertarik menggunakan biogas. Pendekatan ini bertujuan untuk mengajak masyarakat beralih memakai sistem biogas dan tidak perlu membeli gas tabung untuk keperluan sehari-hari. Ketiga, melakukan upaya dalam menjaga sistem biogas tetap aktif. Sistem biogas yang dijaga tetap aktif akan selalu menghasilkan manfaat yang berguna dalam kehidupan sehari-hari.

3.3.3. Dimensi Lingkungan

Pertama, pemberian sanksi terhadap masyarakat yang tidak mengelola limbahnya. Pemberian sanksi terhadap peternak sapi yang memiliki sistem biogas yang aktif membuat para peternak menjadi disiplin dalam mengolah kotoran sapi kedalam sistem biogas. Kedua, pemberian edukasi pengolahan limbah yang baik dan benar. Pemberian edukasi mengenai

pengelolaan limbah ternak perlu dilakukan agar manfaat dari sistem biogas dapat dinikmati oleh penggunaanya secara maksimal.

3.3.4. Dimensi Teknologi

Pertama, membuat kerangka acuan teknik pemasangan biogas. Pembuatan kerangka acuan teknik pemasangan sistem biogas dengan standar yang telah ditentukan, akan mengurangi kemungkinan kerusakan saat pemasangan. Kedua, melakukan upaya dalam menjaga kondisi sistem biogas tetap baik. Pemanfaatan sistem biogas yang optimal dapat dilakukan jika sistem biogas tersebut dalam kondisi baik

3.3.5. Dimensi Kelembagaan

Pertama, membuat cabang struktur organisasi untuk menjangkau pengawasan pengelola terhadap anggota. Pengembangan kelompok yang dilakukan dengan membuat struktur organisasi baru di masing-masing kampung dapat membuat kegiatan pengawasan dan pembimbingan kepada para pengguna sistem biogas dapat berjalan dengan lancar. Kedua, melakukan pengawasan dan pembimbingan secara berkala kepada anggota kelompok. Pembinaan pemerintah daerah khususnya Dinas ESDM dengan berkerjasama dengan dinas-dinas daerah lainnya yang terkait maupun dengan lembaga-lembaga non pemerintah yang bergerak dibidang energi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis keberlanjutan biogas di Desa Cisondari, dapat dirumuskan kesimpulan sebagai berikut.

Status keberlanjutan biogas di Desa Cisondari pada penelitian ini secara keseluruhan menyimpulkan bahwa keberlanjutan biogas cukup berkelanjutan dengan nilai 54,53. Namun demikian, tentu saja angka tersebut masih jauh dari maksimal karena berbagai kendala sebagaimana telah dijelaskan di muka. Status keberlanjutan pada lima dimensi didalamnya yaitu (1) Keberlanjutan biogas dimensi sosial berstatus cukup berkelanjutan dengan nilai 64,56; (2) Keberlanjutan biogas dimensi ekonomi berstatus kurang berkelanjutan dengan nilai 42,59; (3) Keberlanjutan biogas dimensi lingkungan berstatus cukup berkelanjutan dengan nilai 56,35; (4) Keberlanjutan biogas dimensi teknologi berstatus cukup berkelanjutan dengan nilai 55,73; (5) Keberlanjutan biogas dimensi kelembagaan berstatus cukup berkelanjutan dengan nilai 53,46. Secara umum dikatakan bahwa masih banyak hal yang perlu disempunakan agar biogas berkelanjutan.

Analisis *leverage* mengidentifikasi terdapat 10 atribut sensitif atau dua atribut sensitif setiap masing-masing dimensi yang diperhatikan. Atribut-atribut sensitif setiap dimensi pada keberlanjutan biogas di Desa Cisondari yaitu (1) Pada keberlanjutan biogas dimensi sosial terdapat dua atribut diantaranya Lama waktu adaptasi dan Minat penggunaan sistem biogas; (2) Pada keberlanjutan biogas dimensi ekonomi

terdapat dua atribut diantaranya Pengeluaran biaya perawatan sistem biogas dan Beban pengeluaran rumah tangga; (3) Pada keberlanjutan biogas dimensi lingkungan terdapat dua atribut diantaranya Tingkat Kesadaran Masyarakat Terhadap Perbaikan Lingkungan dan Pengetahuan Tentang Manfaat Pengelolaan Limbah; (4) Pada keberlanjutan biogas dimensi teknologi terdapat dua atribut diantaranya Umur Aktif Penggunaan Instalasi dan Kondisi Instalasi Sistem Biogas; (5) Pada keberlanjutan biogas dimensi kelembagaan terdapat dua atribut diantaranya Hubungan Antara Pengelola Dengan Anggota dan Dukungan Pemerintah Kepada Anggota.

Strategi pengembangan tata kelola sistem biogas mengacu pada atribut sensitif hasil analisis *leverage*. Penetapan strategi untuk mengembangkan atribut sensitif dapat dilakukan dengan metode PPA. Pihak yang terkait dengan pengelolaan sistem biogas seperti pemerintah daerah, pengelola teknis, pengelola kelompok, dan anggota kelompok atau pengguna sistem biogas. Setiap atribut sensitif dapat dirumuskan setidaknya satu sampai dua strategi pengembangan.

5. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

Secara sosial, sebaiknya membuat rancangan sosialisasi mengenai materi peralatan sampai teknis sistem biogas secara rutin dan membuat pertemuan rutin dalam kelompok pengguna biogas.

Secara ekonomi, sebaiknya membuat sistem tabungan dalam kelompok, melakukan pendekatan secara personal agar masyarakat tertarik menggunakan biogas dan melakukan upaya dalam menjaga sistem biogas tetap aktif.

Secara lingkungan, dapat dilakukan pemberian sanksi terhadap masyarakat yang tidak mengelola limbahnya. Selain itu memberikan edukasi pengolahan limbah yang baik dan benar menjadi kunci yang penting pula dalam hal ini.

Secara teknologi, sebaiknya membuat kerangka acuan teknik pemasangan biogas dan melakukan upaya dalam menjaga kondisi sistem biogas tetap baik.

Secara kelembagaan, sebaiknya membuat cabang struktur organisasi untuk menjangkau pengawasan pengelola terhadap anggota serta melakukan pengawasan dan pembimbingan secara berkala kepada anggota kelompok.

Acknowledgment

Peneliti ingin menyatakan bahwa artikel ilmiah ini merupakan bagian dari skripsi penulis pertama, yang telah dinyatakan lulus di Departemen Sains Komunikasi dan Pengembangan Masyarakat, Fakultas Ekologi Manusia, Institut Pertanian Bogor.

DAFTAR PUSTAKA

Alder, J., Pitcher, T.J., Preikshot, D., Kaschner, K., and Ferriss, B. 2000. How Good is Good? A Rapid Appraisal

Technique for Evaluation of the Sustainability Status Fisheries of the North Atlantic in Handbook of Methods for Assessing the Impact of Fisheries on Marine Ecosystems of the North Atlantic, editor D. Pauly, T.J. Pitcher. Fisheries Centre Research Reports, Vol. 8 No. 2. Pages 136-182.

Blazquez, J., Fuentes, R., and Manzano, B. 2020. On some Economic Principles of the Energy Transition. Energy Policy, Vol. 147. Pages 1-9.

Bridge, G., Bouzarovski, S., Bradshaw, M., and Eyre, N. 2013. Geographies of Energy Transitions: Space, Place and the Low-Carbon Economy. Energy Policy, Vol. 53. Pages 331-340.

Emerson, E., Syarief, R., dan Asmara, A. 2020. Strategi Keberlanjutan Pemanfaatan Biogas Industri Tapioka di PD XYZ, Jurnal Manajemen Pengembangan Industri Kecil Menengah, Vol. 15 No. 1. Hal. 84-93.

Fauzi, A., dan Anna, S. 2002. Evaluasi Status Keberlanjutan Pembangunan Perikanan: Aplikasi Pendekatan Rappfish (Studi Kasus Perairan Pesisir DKI Jakarta). Jurnal Pesisir dan Lautan, Vol. 4 No. 3. Hal. 43-55.

Flotats, Xavier, August, B., Belen, F., and Albert, M. 2009. "Manure Treatment Technologies: Onfarm Versus Centralized Strategies, NE Spain as Case Study". Jurnal Science Direct Bioresource Technology, Vol. 100 No. 22. Pages 5519 – 5526.

Insam, H., Gomez, B.M., and Ascher, J. 2015. Manure-based Biogas Fermentation Residues – Friend or Foe of Soil Fertility? Soil Biology and Biochemistry, Vol. 84. Pages 1-14.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2018. Konsumsi Energi Nasional (2007-2017). Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Khalil, M., Berawi, M.A., 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, Vol. 105. Pages 323-331.

Munasinghe, M. 1993. Environmental Economic and Sustainable Development. The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank: Washington D.C.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. 2014. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN).

Ristianingsih, D., Dharmawan, A.H., dan Putri, E.I.K. 2018. Analisis Keberlanjutan Biogas Limbah Tahu Pedesaan (Studi Kasus Di Desa Kalisari, Kabupaten Banyumas). Jurnal Ilmu Lingkungan, Vol. 16 No. 2. Hal. 104-112.

Rizki, R.A. 2014. Keberlanjutan Implementasi Pemanfaatan Limbah Kotoran Ternak Di Desa Tegalweru. Sarjana Thesis: Universitas Brawijaya.

Roubík, H., and Mazancová, J. 2020. Suitability of Small-Scale Biogas Systems based on Livestock Manure for the Rural Areas of Sumatra. Environmental Development, Vol. 33. Pages 1-14.

Souza, G.M., Ballester, M.V.R., Cruz, C.H.B., Chum, H., Dale, B., Dale, V.H., Fernandes, E.C.F., Foust, T., Karp, A., and Lynd, L. 2017. The Role of Bioenergy in a Climate-Changing World. Environmental Development. Pages 1-25.

Triwahyuni, A., Hanafi, I., dan Yanuwadi, B. 2015. Strategi Keberlanjutan Pemanfaatan Energi Alternatif Biogas di Desa Argosari Jabung Kabupaten Malang. Jurnal Pembangunan dan Alam Lestari, Vol. 6 No. 2. Hal. 153-162.