

Diseminasi Teknologi Energi Terbarukan Berbasis Sampah Sayuran untuk Mendukung Desa Wisata Alam Desa Selo Boyolali

¹Kuswaji Dwi Priyono, ²Kun Harismah, dan ³Qomarun

¹Prodi Geografi, Universitas Muhammadiyah Surakarta

²Prodi Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Surakarta

³Prodi Teknik Arsitektur, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Email: ¹Kuswaji.Priyono@ums.ac.id, ²Kun.Harismah@ums.ac.id, & qomarun@ums.ac.id

Article Info

Submitted: 30 December 2019

Revised: 17 January 2020

Accepted: 3 April 2020

Published: 7 April 2020

Keywords : Renewable energy, Selo, Tourism Village, Trash.

Abstract

The Technology Product Program that was disseminated to the community in the Selo Boyolali Village aims to implement leading research on renewable energy and environmental engineering that supports the development of a natural tourism village. Selo Village is located between Mount Merbabu and Mount Merapi which is a natural tourist area with mountain views to the north and south. Tourist attractions offered include mountain climbing, outbound, and New Selo (Mount Merapi Observation Post). In Selo there is also traditional art of Topeng Ireng, Jathilan, Reog Ponorogo, Kethoprak, and is famous for its vegetable and fruit agricultural products. Vegetable and fruit waste has a negative impact on the village environment, becoming smelly and dirty which will affect tourist visits. Therefore it is necessary to develop technology for processing vegetable waste that can produce biogas as a renewable energy and can be developed as an environmentally friendly tourist attraction. In its application in the field a 3in1 biogas model is carried out, namely biogas made from 3 types at once, namely: vegetable waste, cow dung and human waste. The use of this waste management method is not only "handling" but also has a use value / benefit as renewable energy and liquid waste that comes out of the digester is used as organic fertilizer for vegetables and other agriculture. This technology can reduce pollutant solids around 75-90% and have a positive impact on a clean and odorless environment. The technology produced in the form of methane gas (CH₄) which is a renewable energy from the results of the recycle concept that is beneficial to the community, because in addition to properly handled waste, renewable energy sources can also be produced. Abstrak ditulis dalam bahasa Inggris (200-250 kata) yang dicetak miring dan merupakan terjemahan dari abstrak yang berbahasa Indonesia.

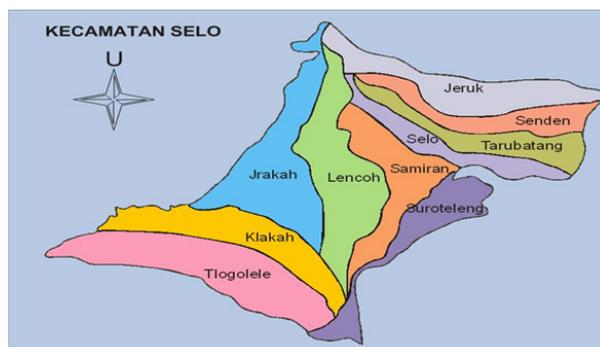
Kata Kunci : Desa Wisata, Energi terbarukan, Selo, Sampah.

Abstrak

Program Produk Teknologi yang didiseminasikan kepada masyarakat di Desa Selo Boyolali bertujuan untuk mengimplementasikan riset unggulan tentang energi terbarukan dan rekayasa lingkungan yang mendukung pengembangan desa wisata alam. Desa Selo terletak di antara Gunung Merbabu dan Gunung Merapi yang merupakan kawasan wisata alam dengan pemandangan gunung di utara dan selatannya. Obyek wisata yang ditawarkan antara lain pendakian gunung, outbound, dan New Selo (Pos Pengamatan Gunung Merapi). Di Selo juga terdapat kesenian tradisional Topeng Ireng, Jathilan, Reog Ponorogo, Kethoprak, dan terkenal dengan hasil pertanian sayuran dan buah-buahan. Sampah sayuran dan buah-buahan berdampak negatif bagi lingkungan desa, menjadi berbau dan kotor yang akan mempengaruhi kunjungan wisatawan. Oleh sebab itu diperlukan pengembangan teknologi untuk pengolahan sampah sayuran yang dapat menghasilkan biogas sebagai energi terbarukan dan dapat dikembangkan sebagai obyek wisata yang ramah lingkungan. Pada penerapannya di lapangan dilakukan model biogas 3in1, yaitu biogas berbahan dasar 3 jenis sekaligus, yaitu: sampah sayur, kotoran sapi dan kotoran manusia. Penggunaan metode pengelolaan limbah ini tidak hanya bersifat “penanganan” namun juga memiliki nilai guna/manfaat sebagai energi terbarukan dan limbah cair yang keluar dari digester dimanfaatkan sebagai pupuk organik tanaman sayuran dan pertanian lainnya. Teknologi ini dapat menurunkan padatan pencemar berkisar 75-90% dan berdampak positif pada lingkungan yang bersih dan tak berbau. Teknologi yang yang dihasilkan berupa gas metana (CH_4) yang merupakan energi terbarukan dari hasil konsep recycle yang menguntungkan bagi masyarakat, karena selain limbahnya tertangani dengan baik, juga dapat dihasilkan sumber energi terbarukan.

1. PENDAHULUAN

Kecamatan Selo adalah salah satu kecamatan yang ada di Kabupaten Boyolali, Provinsi Jawa Tengah, berada di sebelah barat daya di antara Gunung Merapi dan Gunung Merbabu. Kecamatan ini sebagai penyangga Taman Nasional Gunung Merapi, di mana 7 dari 10 desa di Kecamatan Selo berbatasan langsung dengan kawasan tersebut, di antaranya Desa Jrasah, Desa Lencoh, Desa Samiran, Desa Selo, Desa Senden, Desa Tarubalang, dan Desa Jeruk (Gambar 1). Desa Wisata Selo merupakan wilayah dengan topografi perbukitan dan pegunungan berada pada ketinggian rata-rata 1.600 – 1.800 m di atas permukaan air laut, dengan suhu udara berkisar antara 17°- 20°C dan luas wilayah mencapai 9.675 ha.



Gambar 1. Peta Administrasi Kecamatan Selo

Desa Selo ini menawarkan suasana kehidupan pedesaan yang dikombinasikan dengan keindahan panorama Gunung Merapi dan Merbabu (Lihat Gambar 2). Beberapa potensi pariwisata yang dimiliki Desa Selo antara lain Potensi Agrowisata, Potensi Wisata Alam (Pendakian Gunung Merapi dan Merbabu,



Gambar 2. Paket Wisata Alam

Camping ground, dan *Outbond*), Pos Pengamatan Gunung Merapi, Goa Raja, dan Potensi Wisata Budaya (Tari Kuda Lumping, Tari Turonggo Seto, Tari Topeng Rheog, Tari Prajurit, dan Sedekah Merapi). Kunjungan wisatawan New Selo pada tahun 2014 sejumlah 19.250, di tahun 2015 wisatawan yang berkunjung 21.430, tahun 2016 dengan jumlah wisatawan 23.364, tahun 2017 sejumlah 24.457, dan pada tahun 2018 mencapai jumlah 27.569 (Sumber Dinas Pariwisata Kab. Boyolali, 2018).

Perkembangan ekonomi masyarakat di Kabupaten Boyolali khususnya di Desa Selo Kecamatan Selo semakin berkembang dan berpotensi untuk dikembangkan sebagai destinasi pariwisata yang semakin *sustainable*, dan berdaya saing. Namun, adanya jumlah penduduk yang semakin bertambah dan kegiatan paket wisata alam yang potensial tersebut menyebabkan timbulan sampah yang semakin menumpuk. Pengembangan kawasan pedesaan Selo menjadi isu penting dalam 3 (tiga) tahun terakhir ini dikarenakan merupakan Desa Wisata yang bekerja sama Universitas Muhammadiyah Surakarta (UMS). Sejalan dengan program pemerintah untuk percepatan perekonomian Desa Selo yang berfokus menangani Program Wisata Alam Pedesaan serta lingkungan, maka UMS memiliki kepedulian dengan berkontribusi memberikan penguatan melalui aplikasi sains dan teknologi, model, kebijakan, serta rekayasa lingkungan berbasis riset tentang kemandirian energi dan kepedulian lingkungan menuju Desa Wisata Hijau atau *Green Tourism Village*.

Dengan adanya timbulan sampah yang belum tertangani dengan baik, maka pengelolaan sampah yang akan dilakukan untuk bahan kompos sebesar 7,02%, daur ulang sebagai bahan baku 0,79%, daur ulang sebagai produk kreatif 0,56%, terolah sebagai bahan bakar 2,17%, terolah sebagai bank sampah 2,39% sedangkan

yang lainnya ditimbun di lokasi Tempat Pembuangan Sampah (TPS) Sementara 66,39% belum tertangani. Program energi terbarukan dilakukan pada desa ini yang memiliki potensi ekonomi tinggi baik berdasarkan letak geografis wilayah, ekonomi kreatif, *socio-culture*, sumber daya alam, sumber daya manusia ataupun potensi lainnya yang berupa sampah dan belum terkelola dengan baik. Data yang diperoleh berupa timbulan sampah sebesar 46,21 kwintal perhari (Gambar 3).

Perkembangan timbulan sampah yang terdapat di Desa Selo, dewasa ini telah memberikan sumbangan besar terhadap penurunan kesehatan masyarakat. Di lain pihak hal tersebut juga memberi dampak pada lingkungan akibat buangan sampah maupun eksploitasi sumber daya yang semakin intensif dalam pengembangan industri kecil. Lebih lanjut dinyatakan harus ada transformasi kerangka kontekstual dalam pengelolaan sampah, yakni keyakinan bahwa operasi lingkungan secara keseluruhan harus menjamin sistem lingkungan alam berfungsi sebagaimana mestinya dalam batasan ekosistem lokal hingga biosfer. Efisiensi dalam pemanfaatan, pemrosesan, dan daur ulang sampah, akan menghasilkan keunggulan kompetitif dan manfaat ekonomi sesuai dengan **Riset Unggulan** Universitas Muhammadiyah Surakarta dengan skim **Energi Terbarukan**. Dalam pengurangan dan pemanfaatan energi sampah organik oleh Karang Taruna Jagad Manunggal akan dilakukan penerapan teknologi biogas skala rumah tangga. Biogas diperoleh dari sampah organik yang dikarenakan oleh bakteri anaerob sampah akan berubah menjadi biogas yang dapat digunakan sebagai sumber energi pengganti gas (Siboro, 2013). Sedangkan Kelompok Sadar Wisata POKDARWIS akan memanfaatkan lingkungan yang belum tertata menjadi area yang hijau.



Gambar 3. Timbunan Sampah Desa Selo Kecamatan Selo Boyolali

Penggunaan biogas sebagai bahan bakar yang bersih dan ramah lingkungan telah menciptakan dampak yang positif terhadap isu ekonomi, ekologi, dan energy (Sahil, 2016). Program PTDM Desa Selo di Kabupaten Boyolali dalam mewujudkan desa unggulan sebagai desa kerjasama dengan UMS yang dilakukan dengan skema pada Gambar 4 berikut. Mitra kegiatannya bersama Karang Taruna (Kartar) Jagat Manunggal dan Kelompok Sadar Wisata (Pokdarwis) Desa Selo, bersama-sama mewujudkan Desa Wisata Mandiri Enerji.

Tujuan Umum dari program produk teknologi yang didiseminasi menggunakan teknologi energi terbarukan menghasilkan biogas untuk mengintegritas penerapan produksi bersih dan pengolahan sampah menjadi energi terbarukan dengan menggunakan reaktor digester secara terpadu untuk mewujudkan desa mandiri energi, di samping itu juga untuk menjaga desa yang bersih dan sehat menuju desa hijau. Untuk menuju Desa Hijau kelompok mitra adalah Karang Taruna Jagat Manunggal yang beranggotakan 124 orang serta Kelompok Darwis Desa Selo yang beranggotakan 94 orang. Kedua kelompok tersebut akan memanfaatkan sampah yang diproses dari digester menjadi

energi terbarukan serta lumpur digester yang akan digunakan sebagai pupuk organik. **Tujuan Khusus** untuk mengimplementasikan hasil riset unggulan Universitas Muhammadiyah Surakarta, skala prioritas energi terbarukan, rekayasa lingkungan untuk melakukan strategi pengelolaan lingkungannya. Potensi keberlanjutan dari segi ekonomi, sosial dan lingkungan perlu dipertahankan dengan supply produksi biogas dapat konstan dikonsumsi oleh masyarakat, dan berdampak menuju Desa Wisata Alam.

Di Desa Selo, Kecamatan Selo sendiri terdapat sekitar 40 pengrajin makanan ringan. Hal ini tentu menimbulkan dampak yang cukup besar, baik itu secara ekonomi, sosial dan yang terpenting adalah berdampak pada kualitas lingkungan. Luas wilayah desa Selo sekitar 631.1051 ha dengan batas-batas berikut, Batas utara: Desa Senden, Batas selatan: Desa Samiran, Batas barat: Desa Lencoh, Batas timur: Desa Genting. Pengrajin makanan ringan sebanyak 40 pengrajin terdapat pada Desa Selo yang tersebar dalam 6 RT. Di RT 6 terdapat 14 pengrajin makanan ringan, sedangkan di RT 7 terdapat 6 pengrajin, di RT 8 terdapat 4 pengrajin, RT 15 terdapat 6 pengrajin, di RT 9 terdapat 2 pengrajin, di RT 10 terdapat 8 pengrajin. Hampir semua pengrajin memproduksi di lingkungan tempat tinggal dan hampir semua industri kecil jadi satu dengan tempat tinggal pengrajin, demikian pula ternak sapi. Kegiatan dalam proses pembuatan makanan ringan di Desa Selo Kabupaten Boyolali telah mempengaruhi kualitas lingkungan. Kapasitas bahan ketela pohon antara setiap pengrajin per hari 30- 200 kg dengan limbah yang dihasilkan sebanyak 32 kg per pengrajin.



Gambar 4. Skema Implementasi Diseminasi Energi Terbarukan

Permasalahan yang dihadapi Mitra 1, Karang taruna Jagad Manunggal adalah: Timbulan sampah sayuran dan kotoran sapi di Desa Selo Kecamatan Selo Kabupaten Boyolali sebagian besar dibuang begitu saja di lingkungan sekitar sehingga lingkungannya menjadi bau dan kotor; Kondisi tata ruang wilayah sebagai rencana desa wisata, umumnya tidak memenuhi syarat kegiatan dan higienesantasi sehingga kondisi lingkungannya semakin memprihatinkan; dan Sampah yang dihasilkan mengandung padatan tersuspensi maupun terlarut. Padatan tersuspensi maupun terlarut ini akan mengalami perubahan fisika, kimia, dan hayati yang akan menghasilkan zat beracun, selain menciptakan media untuk tumbuhnya kuman dimana kuman ini dapat berupa kuman penyakit, karena sampah belum dimanfaatkan. Adapun permasalahan Mitra 2, Pokdarwis adalah: Kawasan permukiman yang dekat industri kecil makanan, pergerakan dan mobilitas rendah, kepadatan bangunan tinggi, peningkatan pencemaran sampah, timbulnya bau tidak sedap, minimnya kuantitas & kualitas Ruang Terbuka Hijau (RTH), sering terjadi timbunan sampah pada kawasan permukiman yang kurang mendukung wisata; Belum termanfaatkannya kolam-kolam di desa, sehingga perlu diadakan diversifikasi usaha berbasis akuakultur dengan hidroponik, yaitu budidaya sayuran secara akuaponik. Akuaponik adalah gabungan sistem hidroponik dan akuakultur yang saling bersimbiotik, dan Minimnya pengetahuan mitra tentang teknologi tepat guna untuk pembuatan aquaponik.

Solusi pengelolaan lingkungan yang melibatkan Karang Taruna Jagad Manunggal, Kelompok Sadar Wisata POKDARWIS dapat dilakukukan secara terorganisasi tergantung dari wilayah mitra. Selain dilakukan secara individual, upaya pengelolaan lingkungan bersama-sama Karang Taruna Jagad Manunggal dan Kelompok Sadar Wisata POKDARWIS yang akan dilakukan menggunakan pendekatan sumber permasalahan. Dengan demikian, sumber daya dan biaya yang timbul akibat upaya pengelolaan ini ditanggung secara bersamaan oleh pihak yang terlibat. Solusi yang akan diterapkan pada Karang taruna adalah Penerapan teknologi pengolahan sampah dengan diseminasi teknologi digester anaerob 1 (satu) buah yang bervolume 13 m³ untuk mengolah kadar bahan organik yang

tinggi pada sampah serta bahan yang terikut dalam sampah dapat menyebabkan gangguan pada ekologi lingkungan. Padahal bahan organik sebenarnya dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku kegiatan lainya itu sebagai bahan baku pembentukan biogas sebagai energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan untuk proses produksi maupun untuk keperluan bahan bakar rumah tangga. Penggunaan metode pengelolaan limbah ini tidak hanya bersifat penanganan namun juga memiliki nilai guna/manfaat sebagai energi terbarukan. Teknologi ini dapat menurunkan padatan pencemar berkisar 75-90 %. Selain itu, dengan metode anaerob, teknologi yang digunakan sederhana, mudah dipraktekkan dengan peralatan yang relatif murah dan mudah didapat. Diseminasi teknologi digester dengan volume 13 m³ serta penerapan produksi bersih untuk air, bahan baku dan energi.

Adapun solusi yang akan diterapkan pada POKDARWIS adalah Permukiman desa hijau sebagai upaya peningkatan kualitas hidup dan lingkungan perdesaan. Kenyataan di lapangan upaya yang akan dilakukan Desa Selo sebagai kawasan wisata permukiman perdesaan menerapkan upaya pencaangan program Desa wisata alam yang menuju permukiman wisata berkelanjutan, gerakan penghijauan dan optimalisasi RTH, dan penerapan teknologi ramah lingkungan peningkatan kenyamanan pengolahan prasarana ramah lingkungan. Solusi pertama adalah melakukan pengolahan air kolam lele yang kaya akan senyawa amoniak, nitrat dan zat organik lainnya dari kotoran lele dan sisa pakan, akan menjadi sumber nutrisi sayuran yang dibudidayakan secara akuaponik. Sebagian besar tanaman hortikultura dapat tumbuh dengan baik pada sistem akuaponik. Tanaman terpilih yang rencananya dibudidayakan secara akuaponik adalah sawi hijau dan kangkung. Kedua sayuran ini diminati dan dijadikan bisnis masyarakat sekitar karena mempunyai masa tanam yang pendek (± 40 hari). Tanaman pada sistem akuaponik berperan sebagai filter yang menyaring kotoran air kolam. Air kolam menjadi relatif lebih jernih dan bersih sehingga mengurangi frekuensi penggantian air kolam yang biasanya dilakukan seminggu sekali menjadi dua minggu sekali. Berkurangnya frekuensi penggantian air kolam berimbas pada penurunan biaya produksi,

antara lain: biaya listrik biaya perawatan pompa air tenaga dan waktu pembersihan kolam dan meminimalisasi terjadinya stres pada ikan lele akibat pergantian air yang dapat berakibat pada turunnya nafsu makan ikan Turunnya biaya produksi ini secara otomatis akan meningkatkan pendapatan mitra. Selain itu tambahan pendapat juga diperoleh mitra dari penjualan hasil panen sayuran akuaponik. Solusi kedua bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan, solusi kedua adalah melakukan pembekalan mitra dengan pengetahuan dan pelatihan manajemen bisnis yang meliputi penyusunan pembukuan sederhana, penghitungan ongkos produksi, dan strategi penentuan harga produk.

Secara rinci kegiatan yang akan dilakukan pengusul pengabdian dan mitra sebagai bentuk pelaksanaan lanjutan solusi pertama dan kedua adalah sebagai berikut: (1) Mitra menyiapkan peralatan, bahan dan tempat sesuai kesepakatan untuk ditempati sistem tanaman, (2) Pengusul bersama-sama mitra membuat/ membangun sistem akuaponik seperti gambar di lokasi usaha mitra, (3) Pengusul melakukan penyuluhan teknik budidaya sayuran secara akuaponik pada mitra, (4) Pengusul mendampingi dan mengevaluasi, (5) Pengusul mengamati dan mengevaluasi perubahan kondisi dan frekuensi penggantian air kolam, (6) Pengusul melakukan pelatihan manajemen administrasi pada mitra, (7) Pengusul mendampingi dan mengevaluasi kemampuan mitra dalam mengelola administrasi kegiatan usahanya, (8) Pengusul membantu mitra dalam memasarkan hasil panen sayuran, dan (9) Pengusul dan mitra mengevaluasi perubahan biaya produksi dan pendapatan sebelum dan sesudah melaksanakan sistem akuaponik.

Secara teori menurut Prasetyadi, dkk. (2018) dan Mara (2012), luaran yang dihasilkan berupa gas metana (CH_4) merupakan energi terbarukan dari hasil konsep *recycle* yang diterapkan dalam proses pengolahan sampah yang sangat menguntungkan masyarakat, karena selain polusi yang disebabkan oleh sampah tertangani dengan baik, juga dapat dihasilkan sumber energi terbarukan. Digester anaerob sebanyak 2 buah dengan volume 13 m³ yang merupakan *reactor batch*, rangkaian reaktor yang digunakan merupakan proses

batch yaitu memiliki tahapan-tahapan yang masing-masing tahap dijalankan secara batch. Satu siklus operasional digester anaerob terdiri dari 5 tahap, yaitu : (1) Pengisian (*fill*); (2) Reaksi (*react*); (3) Pengendapan (*settle*); (4) Pengurasan (*decant/draw*); (5) Stabilisasi (*idle*). Digester anaerob memiliki kelebihan (1) mampu mengolah sampah dengan beban organik tinggi (2) toleran terhadap beban kejut (*shock loading*) dan (3) efisiensi besar serta (4) murah. Peningkatan pemahaman dan ketrampilan mitra akan pemanfaatan sampah pengairan, lumpur digester digunakan untuk pupuk organik cair dan budidaya sayuran secara akuaponik. Efisiensi produksi berupa berkurangnya biaya produksi untuk bahan bakar dan keperluan rumah tangga, serta biaya untuk keperluan pupuk. Peningkatan pemahaman dan kemampuan mitra dalam menyusun pembukuan sederhana, penghitungan ongkos produksi, dan penentuan harga jual produk yang menguntungkan mitra dan sesuai dengan keinginan konsumen.

Rencana capaian penerapan teknologi kepada masyarakat ini, antara lain: mengurangi jumlah penggunaan air proses, mengurangi pencemaran air, memperbesar daur ulang limbah cair makanan ringan, peningkatan penerapan teknologi dan ketrampilan mitra budidaya sayuran, efisiensi produksi berupa berkurangnya biaya produksi, peningkatan ketrampilan dan kemampuan mitra dalam menyusun pembukuan sederhana, peningkatan ketrampilan dan kemampuan mitra dalam menghitung ongkos produksi, peningkatan ketrampilan dan mitra menentukan harga jual produk yang tepat untuk mitra dan konsumen, dihasilkannya produk baru berupa sayuran akuaponik, peningkatan pendapatan/omzet mitra, dan wisata alam menjadi lebih dikenal. Selanjutnya indikator capaiannya adalah: industri kecil makanan ringan melaksanakan produksi bersih serta efisiensi bahan baku, air dan energy, lingkungan industri tidak tercemar oleh air limbah dengan indikator tidak ada bau busuk dan luberan air limbah di permukiman penduduk, diperoleh energi terbarukan dari hasil daur ulang limbah cair Makanan ringan dengan indikator berkurangnya biaya untuk energi mencapai 40%, kuantitas dan kualitas hasil panen sayuran akuaponik meningkat 40%, frekuensi penggantian air kolam turun

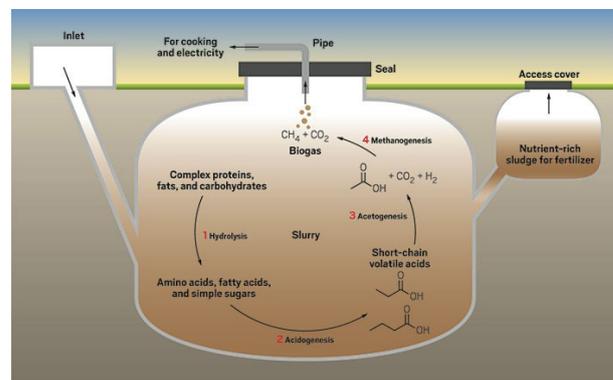
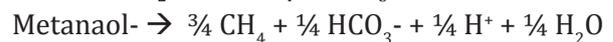
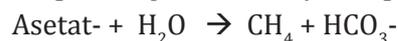
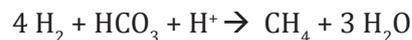
50% yang berkorelasi dengan penurunan 50% biaya produksi, ketepatan dan kesesuaian Mitra dalam merakapitulasi setiap transaksi dalam pembukuan, ketepatan dan kesesuaian Mitra dalam menghitung ongkos produksi dengan transaksi yang terjadi di lapangan, diperolehnya pendapatan tambahan dari hasil penjualan panen sayuran sebesar 40%, dan diperoleh pendapatan dari hasil wisata.

2. METODE

Metode kegiatan terapan teknologi pada masyarakat ini, meliputi persiapan, identifikasi kebutuhan masyarakat, perancangan, *manufacturing*, pembangunan digester, sosialisasi penggunaan digester ke mitra dan pendampingan operasional serta diseminasi teknologi, pola pengairan dengan pemanfaatan air limbah yang keluar digester, pembuatan pupuk organik cair, pendampingan pembukuan pemasaran dan penjualan produk pertanian menggunakan sarana IT, monitoring dan evaluasi. Adapun tahapan pengoperasian digester anaerob, meliputi: (1) waktu siklus dalam sistem digester anaerob berkisar antara 3 - 24 jam, tergantung karakteristik limbah dan tujuan pengolahan (Muktiani, 2007; Lim, 2016). Sistem digester anaerob dapat dimodifikasi untuk oksidasi karbon (C), nitrifikasi, denitrifikasi, dan eliminasi fosfor (P). Proses sistem digester anaerob terdiri atas lima tahap, yaitu pengisian, reaksi, pengendapan, pengurasan, dan stabilisasi. Sebelum dimulai operasi digester anaerob dilakukan *flushing* terhadap bak influen maupun digester dengan menggunakan nitrogen 95,95% (*industrial grade*) selama 30 menit untuk pengusir oksigen (O₂); (2) Periode Pengisian (*Fill*), pengoperasian digester anaerob dimulai dengan periode pengisian. Pada tahap ini *valve* yang menghubungkan bak penampung influen dengan reaktor dibuka dengan pengaturan debit sehingga dalam 3 jam cairan yang ada di dalam bak influen habis tertransfer ke dalam digester (Indriyanti, 2015; Shepard, 2017). Karena periode ini dijalankan influen dan digester ditutup dan dimulai tahap yang ke dua yaitu tahap reaksi; (3) periode Reaksi (*React*), *sampling* mulai dilakukan pada saat permulaan

tahap reaksi yaitu dilanjutkan dengan interval waktu tertentu hingga berakhirnya tahap reaksi; (4) periode Pengendapan (*Settle*), terjadinya pengendapan biomasa. Setelah tercapai waktu 2,4 jam tahap selanjutnya adalah periode pengurasan; (5) periode pengurasan (*Decant/Draw*), periode ini merupakan periode pengeluaran supernatan (cairan jernih) dari dalam sistem. Supernatan tersebut merupakan efluen dari proses anaerob. Pengeluaran efluen dilakukan dengan cara membuka *sampling port* hingga tersisa hanya biomasa berupa lumpur selokan saja. Pada reaktor telah diberi tanda batas volume biomasa yang berupa lumpur selokan sebagai acuan untuk periode pengurasan; (6) periode Stabilisasi (*Idle*), tahap terakhir yang dilakukan adalah tahap stabilisasi dilakukan terhadap reaktor yang hanya berisi biomasa berupa lumpur selokan. Tahap ini dilakukan selama 0,6 jam.

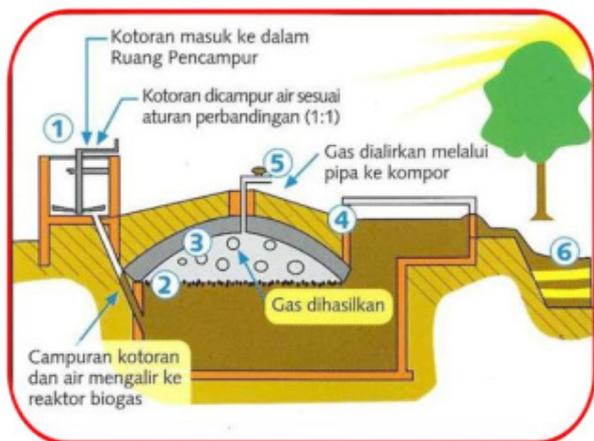
Gambar 5 menggambarkan komposisi gas metana yang dihasilkan sangat bergantung dari kandungan bahan organik limbah yang dapat didegradasi melalui proses anaerobik, di antaranya karbohidrat, lemak, dan protein. Proses pengolahan limbah secara anaerobik terdiri atas proses hidrolisis, acidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis. Reaksi kimia berdasarkan proses degradasi senyawa organik dengan bakteri metanogenesis adalah.



Gambar 5. Skema Digester Anaerob dan Reaksi yang Terjadi

Sedimentasi berlangsung dalam satu digester, padatan total tersuspensi (TSS), COD dan gas yang terbentuk dikontrol pada range optimum 30°C-35°C dan pH dikontrol pada range optimum 6,8- 7,4. Secara skematis, diagram alir rancangan sistem digester anaerob tersaji pada Gambar 6 (Stams, et.al., 2003; Ratnaningsih, 2009; Mara, 2012).

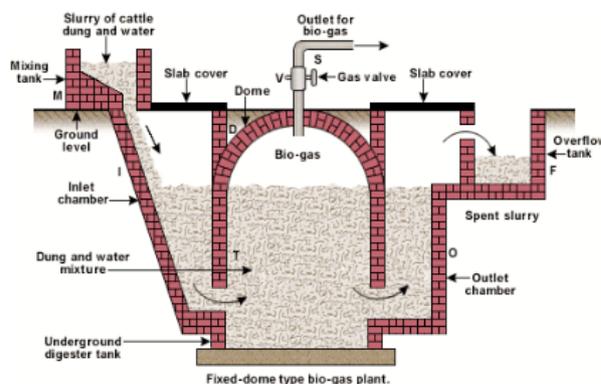
Partisipasi Mitra dalam Pelaksanaan Program merupakan penguatan Forum Kelembagaan Paguyuban, Pengaturan *layout* (alur produksi) secara total mulai dari sampah, Desain produk digester anaerob, Proses penyusunan pembukuan, Berperan serta dalam training pembuatan digester anaerob, Berperan serta dalam training teknik pengolahan sampah, Berperan serta dalam training eco efisiensi bahan baku, energi, Berperan serta dalam training pemasaran melalui media elektronik. Gambaran teknologi terkait dengan biodigester dan mesin pencacah sampah dapat dilihat di Gambar 7 (Waskito, 2011; Widyasmara, 2012; Suminto, dkk, 2013).



Gambar 6. Skema Rangkaian Digester Anaerob

Keterangan:

1. *Inlet* (tangki pencampur), tempat bahan baku kotoran dimasukkan,
2. Reaktor (ruang anaerobik/hampa udara),
3. Penampung gas (kubah penampung),
4. Outlet (ruang pemisah),
5. Sistem pipa penyalur gas, dan
6. Lubang penampung ampas biogas atau lubang pupuk kotoran yang telah terfermentasi.



Gambar 7. Gambaran Teknologi yang Akan Diterapkan

Metode pelaksanaan yang akan dilakukan untuk mendukung realisasi program PTDM di Desa Selo Kecamatan Selo Kabupaten Boyolali untuk Kelompok Peduli Lingkungan Mitra Amanah Karang Taruna Jagad Manunggal dan POKDARWIS ada lima berikut.

- a. Desiminasi Teknologi Pengolahan Limbah Lumpur Digester menjadi Pupuk Organik dan Pupuk Cair.

Model pendampingan kepada masyarakat ditujukan sebagai upaya pengembangan program edukasi kepada masyarakat melalui pola-pola yang berorientasikan pada peningkatan kualitas sumber daya manusia, yang memiliki tanggung jawab yang tinggi terhadap lingkungan seperti penyuluhan dan pelatihan. Keterlibatan secara langsung dan bersama-sama masyarakat yang tergabung dalam kelompok POKDARWIS menghadapi dan menyelesaikan permasalahan pemanfaatan lumpur digester sebagai penghasil pupuk cair dan pupuk organik. Program ini merupakan program pengabdian kepada masyarakat yang sangat efektif. Karena selain memberikan manfaat langsung kepada masyarakat juga secara akademis merupakan implementasi dari program riset unggulan Universitas Muhammadiyah Surakarta dan nilai-nilai keilmuan dosen yang mengembangkan Tridharma Perguruan Tinggi.

- b. Perencanaan dan Perancangan Alat Pupuk Organik dan Pupuk Cair

Perencanaan dan perancangan peralatan pupuk organik dan pupuk cair dilakukan

- dengan melihat volume lumpur untuk keperluan pembuatan pupuk. Hal ini direncanakan dan dibuat gambar teknis secara sederhana yang memenuhi kriteria keamanan strukturnya dan prinsip paling ekonomis. Kemudian seiring dengan pembuatan alat pengolah pupuk organik juga dilakukan perencanaan pembuatan instalasi pembuatan pupuk organik dan pupuk cair. Di samping itu dilakukan perencanaan pembangunan bak control keluaran yang digunakan untuk menampung keluaran limbah lumpur yang dapat dimanfaatkan oleh petani sebagai pupuk organik. Pola perencanaan ini juga melibatkan kelompok POKDARWIS agar masyarakat penggunaanya dapat merasakan manfaatnya serta turut membangun bersama sebagai bentuk tanggung jawab kemandiriannya. Dengan demikian, bukanlah hal yang sulit untuk melibatkan masyarakat kelompok Tani dalam merencanakan, merancang sampai proses pembangunan instalasi pengolah pupuk organik sesuai dengan kebutuhannya.
- c. Pendampingan Masyarakat dalam Mengorganisaikan Kegiatan Pembangunan
- Pada masyarakat yang terorganisir dalam Kelompok POKDARWIS, kegiatan pembangunan lingkungan yang dilaksanakan merupakan program yang relatif sudah berjalan melalui organisasi kelompok petani, RT dan RW maupun kepala desa setempat. Namun dalam beberapa hal yang menyangkut organisasi masih perlu penataan. Hal ini dimaksudkan agar kegiatan pembangunan peralatan pembuatan pupuk organik dan Instalasi pupuk cair yang akan dilaksanakan dapat terorganisir dengan baik dan berkelanjutan. Artinya dengan pendampingan profesional masyarakat diharapkan lebih terarah dan dapat memberdayakan potensi masyarakat petani secara optimal.
- d. Pendampingan Pelaksanaan Proses Pembangunan Instalasi dan Mesin Pembuat Pupuk Organik dan Pupuk Cair.
- Model yang dikembangkan merupakan penerapan proses pembangunan yang berbasiskan masyarakat petani setempat, mulai dari perencanaan sampai pada sumber daya manusia yang melaksanakan pembangunannya. Penggalan dan penguatan cara tradisional seperti musyawarah, kerja bakti (gotong royong) tetap menjadi model yang paling efektif diterapkan. Model ini bukanlah hal yang asing bagi masyarakat desa, karena kegiatan-kegiatan pembangunan fisik sudah terbiasa dilakukan secara swadaya dan bersama-sama, sehingga pelaksanaan model seperti ini tidak akan mendapatkan kendala yang berarti. Pembangunan peralatan dan instalasi pembuat pupuk organik dan pupuk cair didesain secara sederhana yang memenuhi kriteria keamanan strukturnya dan prinsip paling ekonomis.
- e. Putaran *belt* diturunkan ke roda gigi pembalik untuk membalikkan arah putaran. Putaran dari roda gigi selanjutnya akan memutar puli dan *fan belt*. Putaran dari puli dan *fan belt* akan diteruskan ke *conveyor*. Putaran *conveyor* akan mengangkut lumpur digester dari saluran masuk. Lumpur digester kemudian di angkut oleh *conveyor* dan ditampung ke dalam bak penampung dan diproses menjadi pupuk organik.
- Di bagian atas terdapat motor window dan power screw yang akan mengangkat alat apabila lumpur digester, sehingga tinggi alat dapat menyesuaikan tinggi tumpukan lumpur digester. Pendampingan Pelaksanaan Operasional dan pemeliharaan peralatan pupuk organik. Tercapainya target pembangunan peralatan pembuat pupuk organik dan pupuk cair dan instalasi, maka perlu dilakukan tindak lanjut operasional dan pemeliharaannya agar diperoleh pupuk organik dan pupuk cair yang optimal digunakan untuk pertanian. Model pendampingan ini berupa penyuluhan dan pelatihan untuk memanfaatkan lumpur digester untuk pupuk organik dan pupuk cair.
- Metode yang digunakan pengusul untuk menyelesaikan permasalahan Kelompok POKDARWIS adalah kekeluargaan, keterbukaan, penyuluhan, pelatihan, penerapan teknologi dan pendampingan dari awal sampai akhir PTDM. Tindak Lanjut dan Monitoring Serta

Evaluasi Tercapainya target program pada pelaksanaannya belum dapat dijadikan sebagai indicator keberhasilan program dalam kerangka yang lebih luas (Prasetyadi, dkk., 2018). Program jangka panjang yang dirancang oleh tim pengabdian pada masyarakat di Desa Jaten Kecamatan Jaten Kabupaten Karanganyar, diterapkan model tindak lanjut yang berkesinambungan. Setelah program ini akan dilanjutkan penataan instalasi peralatan agar masyarakat luas dapat memanfaatkan berbagai pengembangan pupuk organik dan pupuk cair dan bio digester serta pemanfaatan air limbah digester untuk pengairan pertanian. Untuk monitoring dan evaluasi akan dilakukan oleh pemonev internal Universitas Muhammadiyah Surakarta dan Pemonev Eksternal dari LPPM, hal tersebut untuk memonitor kegiatan. Selanjutnya Evaluasi Pelaksanaan Program dan Berkelanjutan Menuju Wisata Hijau, Tahap ini adalah kegiatan tim pengabdian memonev mitra Karang Taruna Jagad Manunggal dan POKDARWIS untuk tetap menjaga kemitraan antara tim pengabdian dan mitra. Tujuannya memastikan bahwa digester dapat beroperasi dalam keadaan baik dan mitra tetap melakukan penggunaan dan perawatan sesuai prosedur. Memonev perawatan pada komponen pengaliran air limbah sampai ke pengaliran gas ke masyarakat serta keberlanjutan pembuatan pupuk organik dan pupuk cair serta keberlangsungan produksi akuaponik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tim pengabdian masyarakat UMS yang terdiri dari dosen dan mahasiswa telah melakukan serangkaian 3 kegiatan utama, yaitu: (1) FGD dengan warga Selo beserta pemimpinnya; (2) survey lapangan penentuan lokasi biogas; serta (3) perancangan desain biogas. Kegiatan 3 jenis itu dilakukan berkali-kali, sehingga saat ini mulai ada hasil capaiannya. Pada saat awal kunjungan lokasi pengabdian masyarakat, yaitu Rabu, 17 Juli 2019 jam 09.00-10.00 di Bale Desa Selo, pihak Pemerintah Desa Selo memberitahukan bahwa sedang terjadi transisi kepemimpinan Desa Selo, sehingga kondisi belum memungkinkan untuk kegiatan pengabdian masyarakat. Pihak Sekretaris Desa menyarankan supaya kegiatan pengabdian masyarakat dari UMS dilakukan mulai pertengahan Agustus 2019, yaitu setelah

adanya pelantikan lurah yang baru, supaya situasi dan kondisi desa lebih kondusif. Oleh karena itu, tim UMS hadir mulai kembali pada pertengahan Agustus 2019, yaitu Selasa 20 Agustus 2018 dan seterusnya, untuk diskusi yang lebih mendalam dan lebih mengarah kepada program biogas, serta pembangunannya. Adapun suasana FGD dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Foto FGD Biogas di Bale Desa Selo, 20 Agustus 2019



Gambar 9. Survey dan Pengukuran Lahan Biogas



Gambar 10. Survey dan Pengukuran Lahan Biogas

Setelah dilakukan diskusi di Bale Desa Selo, maka tahap-tahap berikutnya tim UMS melakukan survey lapangan untuk menemukan lokasi yang sesuai dengan program biogas di rumah-rumah warga. Berikut ini adalah beberapa foto-foto hasil survey lapangan dan desain lokasi biogasnya yang direncanakan dibangun dalam Program kegiatan PTDM ini (Lihat Gambar 9 dan Gambar 10).

Kegiatan tahap selanjutnya adalah membuat gambar kerja, RAB dan pembangunan biogas. Dalam pelaksanaan pembuatan instalasi biogas disepakati tim pelaksana pembangunan adalah tim ahli biogas dari Boyolali, yaitu CV Bionat yang dipimpin oleh Bapak Ir. M. Junaedi. Dalam pelaksanaan pembuatannya, sebagai proses pembelajaran pembuatan biogas kepada Mitra dan warga Desa Selo umumnya, maka beberapa tenaga/tukang diambil dari warga Selo, sehingga terjadi transfer ilmu pembangunan biogas. Hal ini dilakukan supaya jika ada pembangunan biogas berikutnya warga Desa Selo bisa mandiri. Fokus pembangunan biogas dalam kegiatan ini adalah model 3in1, yaitu biogas yang berbahan baku

dari 3 jenis bahan, yaitu dari sampah sayuran, kotoran sapi dan kotoran manusia. Karena bahan sampah sayuran ternyata secara spasial di desa Selo sangat minim, untuk keberlanjutan jangka panjang maka biogas dikondisikan dari kotoran sapi dan manusia. Selanjutnya mesin pencacah sayuran dialokasikan untuk pendampingan tata kelola ruang permukiman untuk kenyamanan *homestay* bagi wisatawan dan area parkir mobil. Hal tersebut karena keterjangkauan mobil wisatawan hanya sampai lokasi tersebut, selanjutnya wisatawan melanjutkan route pendakian ke Puncak Merbabu dengan jalan kaki. Adapun proses gambaran teknologi yang didiseminasikan kepada masyarakat terlihat pada Gambar 11.

Penerapan teknologi pengolahan sampah dengan diseminasi teknologi digester anaerob 2 (dua) buah yang bervolume 13 m³ untuk mengolah kadar bahan organik yang tinggi pada kotoran sapi/ternak lainnya, sampah serta bahan yang terikut dalam sampah telah dapat mengatasi penyebab gangguan pada ekologi lingkungan di Desa Selo. Setelah kegiatan ini bahan organik dari kotoran ternak, manusia, dan sampah sayuran dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku kegiatan lainnya yakni sebagai bahan baku pembentukan biogas sebagai energi terbarukan telah dapat dimanfaatkan untuk proses produksi maupun untuk keperluan bahan bakar rumah tangga. Penggunaan metode pengelolaan limbah ini tidak hanya bersifat penanganan namun juga memiliki nilai guna/manfaat sebagai energi terbarukan. Teknologi ini dapat menurunkan



Gambar 11. Instalasi Biogas dengan input kotoran sapi dan manusia

padatan pencemar berkisar 75-90 %. Selain itu, dengan metode anaerob, teknologi yang digunakan sederhana, mudah dipraktekkan dengan peralatan yang relatif murah dan mudah didapatkan yakni dari kotoran sapi, manusia (WC), dan sampah sayuran tersebut.

Permukiman desa yang mendukung Wisata Hijau sebagai upaya peningkatan kualitas hidup dan lingkungan perdesaan yang nyaman bagi wisatawan mulai dipahami oleh masyarakat Desa Selo. Kenyataan di lapangan kegiatan ini juga menjadi upaya terjalannya kembali sifat kegotongroyongan masyarakat yang terbelah karena pemilihan kepala desa 3 bulan yang lalu dapat teratasi. Masyarakat di Desa Selo telah menyadari bahwa desanya layak sebagai kawasan wisata permukiman perdesaan yang menerapkan upaya penancangan program Desa Wisata alam menuju permukiman wisata berkelanjutan. Gerakan penghijauan dan optimalisasi RTH berupa penerapan teknologi ramah lingkungan telah berdampak pada peningkatan kenyamanan sarana dan prasarana Desa Selo yang ramah lingkungan.

Solusi juga telah dilakukan melalui penampungan air dari kamar mandi penduduk ditampung pada kolam-kolam yang terbuat dari terpal. Kolam dari sisa buangan air tersebut dimanfaatkan untuk pembesaran budidaya ikan lele yang kaya akan senyawa amoniak, nitrat dan zat organik lainnya dari kotoran lele dan sisa pakan, akan menjadi sumber nutrisi sayuran yang dibudidayakan pada lahan pertanian penduduk. Sebagian besar tanaman hortikultura dapat tumbuh dengan baik terutama pada saat musim kemarau yang kekurangan air, sehingga kebutuhan air untuk menyiram sayuran teratasi melalui program kegiatan ini. Tanaman terpilih yang dibudidayakan adalah kentang, buncis, sawi hijau, loncang, kacang kapri, dan kangkung. Tanaman sayur-sayuran ini diminati dan dijadikan bisnis masyarakat sekitar karena mempunyai masa tanam yang pendek (± 40 hari). Tanaman pada sistem berperan sebagai filter yang menyaring kotoran air kolam. Air kolam menjadi relatif lebih jernih dan bersih, sehingga mengurangi frekuensi penggantian air kolam yang biasanya dilakukan seminggu sekali menjadi dua minggu sekali. Berkurangnya frekuensi penggantian air kolam berimbas pada

penurunan biaya produksi, antara lain: biaya listrik biaya perawatan pompa air tenaga dan waktu pembersihan kolam dan meminimalisasi terjadinya stres pada ikan lele akibat pergantian air yang dapat berakibat pada turunnya nafsu makan ikan. Turunnya biaya produksi ini secara otomatis akan meningkatkan pendapatan mitra. Selain itu tambahan pendapat juga diperoleh mitra dari penjualan hasil panen sayuran.

Solusi selanjutnya sebagai rangkaian tindak lanjut bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan yaitu melakukan pembekalan mitra dengan pengetahuan dan pelatihan manajemen bisnis yang meliputi penyusunan pembukuan sederhana, penghitungan ongkos produksi, dan strategi penentuan harga produk. Secara rinci kegiatan yang akan dilakukan pengusul pengabdian dan mitra sebagai bentuk pelaksanaan lanjutan adalah sebagai berikut: (1) Mitra menyiapkan peralatan, bahan dan tempat sesuai kesepakatan untuk ditempati sistem tanaman, (2) Pengusul bersama-sama mitra membuat/ membangun sistem akuaponik seperti gambar di lokasi usaha mitra, (3) Pengusul melakukan penyuluhan teknik budidaya sayuran secara akuaponik pada mitra, (4) Pengusul mendampingi dan mengevaluasi, (5) Pengusul mengamati dan mengevaluasi perubahan kondisi dan frekuensi penggantian air kolam, (6) Pengusul melakukan pelatihan manajemen administrasi pada mitra, (7) Pengusul mendampingi dan mengevaluasi kemampuan mitra dalam mengelola administrasi kegiatan usahanya, (8) Pengusul membantu mitra dalam memasarkan hasil panen sayuran, dan (9) Pengusul dan mitra mengevaluasi perubahan biaya produksi dan pendapatan sebelum dan sesudah melaksanakan sistem akuaponik.

4. KESIMPULAN

Penerapan teknologi pengolahan sampah dengan diseminasi teknologi digester anaerob yang bervolume 13 m³ untuk mengolah kadar bahan organik yang tinggi dari input kotoran sapi/ternak lainnya, sampah serta bahan yang terikat dalam sampah telah dapat mengatasi penyebab gangguan pada ekologi lingkungan di Desa Selo. Setelah kegiatan ini bahan organik dari kotoran ternak, manusia, dan sampah

sayuran dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku kegiatan lainnya yakni sebagai bahan baku pembentukan biogas sebagai energi terbarukan telah dapat dimanfaatkan untuk proses produksi maupun untuk keperluan bahan bakar rumah tangga. Penggunaan metode pengelolaan limbah ini tidak hanya bersifat penanganan namun juga memiliki nilai guna/manfaat sebagai energi terbarukan. Teknologi ini dapat menurunkan padatan pencemar berkisar 75-90 %. Selain itu, dengan metode anaerob, teknologi yang digunakan sederhana, mudah dipraktikkan dengan peralatan yang relatif murah dan mudah didapatkan yakni dari kotoran sapi, manusia (WC), dan sampah sayuran tersebut.

Permukiman desa yang mendukung Wisata Hijau sebagai upaya peningkatan kualitas hidup dan lingkungan perdesaan yang nyaman bagi wisatawan mulai dipahami oleh masyarakat Desa Selo. Kenyataan di lapangan kegiatan ini juga menjadi upaya terjalannya kembali sifat kegotongroyongan masyarakat yang terbelah karena pemilihan kepala desa 3 bulan yang lalu dapat teratasi. Masyarakat di Desa Selo telah menyadari bahwa desanya layak sebagai kawasan wisata permukiman perdesaan yang menerapkan upaya penancangan program Desa Wisata alam menuju permukiman wisata berkelanjutan. Gerakan penghijauan dan optimalisasi RTH berupa penerapan teknologi ramah lingkungan telah berdampak pada peningkatan kenyamanan sarana dan prasarana Desa Selo yang ramah lingkungan.

Dalam kegiatan lanjutan disarankan adanya sinergitas yang lebih solid antar warga, sehingga kegiatan bersama yang dilakukan secara bergotongroyong akan terus memupuk persatuan antar warga Desa. Perpecahan pasca pemilihan Kepala Desa tidak akan terjadi apabila jalinan kerjasama dalam banyak kegiatan yang berkelanjutan terus digalakkan. Program kegiatan pengabdian pada masyarakat oleh Tim UMS akan terus dilakukan secara bertahap dalam pendampingan Desa Mitra.

5. PERSANTUNAN

Ucapan terima kasih dan apresiasi diberikan kepada Kementerian Riset Teknologi dan Perguruan Tinggi (Kemenristekdikti), Direktorat Penguatan Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRPM) yang telah menugaskan kepada Tim Pengabdian Masyarakat UMS pada Tahun Anggaran 2019 ini. Apresiasi yang dalam kepada Kepala Desa Selo yang lama maupun yang baru dalam kerjasama melaksanakan kegiatan ini. Kepada Mitra yang diwakili oleh Mas Hartoyo (Karang taruna) dan Mbah Kasno (Pokdarwis dan Pelaku Seni Desa Selo), segenap Tim Pengabdian mengucapkan banyak terimakasih atas bantuan fasilitas rumah untuk pelaksanaan kegiatan ini. Semoga kegiatan ini dapat berlanjut dalam rangkaian Pendampingan Desa Mitra UMS di Desa Selo, keberterimaan wisatawan domestic maupun mancanegara akan terus meningkat seiring terciptanya lingkungan Desa Selo yang hijau dan berkemajuan.

DAFTAR PUSTAKA

- Indriyanti, D. R., Banowati, E., & Margunani, M. (2015). Pengolahan Limbah Organik Sampah Pasar Menjadi Kompos. *Jurnal Abdimas*, 19(1), 255-26.
- Lim, X-Z. (2016). Uphill climb for biogas in Asia. *Chemical and Engineering News*, 94(19): 20-22. <https://cen.acs.org/articles/94/i19/Uphill-climb-biogas-Asia.html>. Diakses 27 Februari 2019.
- Mara, M. (2012). Analisis Penyerapan Gas Karbondioksida (CO₂) Dengan Larutan NaOH Terhadap Kualitas Biogas Kotoran Sapi. *Dinamika Teknik Mesin*, 2(1).
- Muktiani, A., Achmadi, J., & Tampubolon, B. I. M. (2007). Fermentabilitas rumen secara in vitro terhadap sampah sayur yang diolah. *JPPT*, 32(1), 44-50.
- Prasetyadi, P., Wardani, L. A. & Kusnopranto, H. (2018). Evaluasi Kinerja Operasi Sistem Anaerobik Tipe Fixed Bed untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu menjadi Biogas di Kota Probolinggo. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(1) : 61-70. Doi: 10.29122/jtl.v19i1.2624.

- Ratnaningsih, R., Widyatmoko, H., & Yananto, T. (2009). Potensi pembentukan biogas pada proses biodegradasi campuran sampah organik segar dan kotoran sapi dalam batch reaktor anaerob. *Jurnal Teknologi Lingkungan Universitas Trisakti*, 5(1), 19-26.
- Sahil, J., Al Muhdar, M. H. I., Rohman, F., & Syamsuri, I. (2016). Sistem pengelolaan dan upaya penanggulangan sampah di Kelurahan Dufa-Dufa Kota Ternate. *BIOeduKASI*, 4(2).
- Siboro, E. S., Surya, E., & Herlina, N. (2013). Pembuatan pupuk cair dan biogas dari campuran limbah sayuran. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 2(3), 40-43.
- Shepard, N. (2017). Endless Fuel-Survive The End Days, <http://survivetheenddays.com/endless-fuel-4/>. Diakses 25 Februari 2019.
- Stams, A.J.M., Elfrink, S.J.W.H.O., dan Westerman, P. (2003). *Metabolic Interactions Between Metanaogenic Consortia and Anaerobic Respiring Bacteria*. Wageningen. School of Engineering and Applied Science, Civil and Environmental Engineering Dept. *Advances in Biochemical Engineering/ Biotechnology*, Vol. 81. Springer.
- Suminto, Susanto, D. A., Lukiawan, R. (2013). Standar dalam Mendukung Pengembangan Sumber Energi Baru (Biogas). *Jurnal Standardisasi*, 15(1) : 9 – 19.
- Waskito, D. (2011). Analisis pembangkit listrik tenaga biogas dengan pemanfaatan kotoran sapi di kawasan usaha peternakan sapi. Tesis. Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta.
- Widyasmara, L., Pratiwiningrum, A., & Yusiati, L. M. (2012). Pengaruh jenis kotoran ternak sebagai substrat dengan penambahan serasah daun jati (*Tectona grandis*) terhadap karakteristik biogas pada proses fermentasi. *Buletin Peternakan*, 36(1), 40-47.