



BIOGAS, RENEWABLE ENERGY MENDUKUNG PERTANIAN BIOINDUSTRI

BIOGAS, RENEWABLE ENERGY TO SUPPORTS BIOINDUSTRY AGRICULTURE

Roosganda Elizabeth

BRIN/Pusat Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian

E-mail: roosimanru@yahoo.com

INFO ARTIKEL

Koresponden

Roosganda Elizabeth
roosimanru@yahoo.com

Kata kunci:

pertanian-bioindustri,
zero wasted, biogas,
energi terbaruka

Website:

<http://idm.or.id/JSCR>

hal: 1 - 15

ABSTRAK

Pengembangan sistem integrasi tanaman - ternak secara holistik dan terintegrasi berbasis *zero waste* menghasilkan biogas sebagai sumber energy terbarukan. Implementasi renewable energy yang efisien dan hemat dibanding bahan bakar konvensional adalah salah satu capaian dalam pertanian bioindustri sebagai pertanian masa depan terkait optimalisasi pengembangan potensi berbagai faktor produksi. Terimplementasikannya biogas sebagai energi terbarukan sangat mendukung program pemerintah untuk pemanfaatan limbah tani ternak tanpa sisa (*zero waste*) untuk masak dan penerangan. Dengan metode deskriptif kualitatif tulisan ini bertujuan mengemukakan secara komprehensif berbagai pemanfaatan limbah tanaman ternak menjadi bernilai untuk peningkatan pendapatan petani peternak yang terlibat, diperkaya dengan *review* berbagai literatur terkait. Terindikasi bahwa pengembangan konsep pertanian berkelanjutan pada sistem integrasi tanaman ternak berbasis *zero wasted* management dan produk olahannya dalam kaidah pertanian bioindustri terintegrasi dengan aspek sosial ekonomi pertanian dan lingkungan serta sumberdaya setempat. Perlunya dilakukan *improvement monitoring*, evaluasi dan pendampingan berpihak, melalui peningkatan kompetensi SDM pertanian dalam pemanfaatan inovasi teknologi. Tercapainya penghematan energi/biaya bahan bakar, penyerapan tenaga kerja, peningkatan pendapatan petani peternak, dan ekonomi pedesaan melalui pemanfaatan biogas.

Copyright © 2021 JSCR. All rights reserved.

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Correspondent:</p> <p>Roosganda Elizabeth roosimanru@yahoo.com</p> <p>Key words: agriculture-bioindustry, zero wasted, biogas energy renewable</p> <p>Website: http://idm.or.id/JSCR</p> <p>page: 1 - 15</p>	<p><i>The development of sustainable agriculture-bio-industry in a holistic and integrated manner, one of which is through the development of competitive processed products and a zero waste-based crop-livestock integration system (SITT). With the qualitative descriptive method, this paper aims to present a comprehensive range of opportunities for the use of livestock crop waste to support product added value and increase farmer farmer income, which is enriched by a review of various studies and related literature. The concept, implementation and development of bio-industrial agriculture is closely related to the optimization of the potential development of various production factors (natural resources, land, plants, livestock including human resources and availability of technology), which can be realized if its use is also an industry producing processed products, feed, fertilizers and so on. which has a significant added value. It is indicated that the development of the concept of sustainable agriculture in the system of integration of livestock plants based on zero wasted management and processed agricultural products is competitive in the principles of bio-industrial agriculture by integrating various socio-economic aspects of agricultural communities and environmental aspects as well as local resources and local wisdom. It is necessary to carry out improvement monitoring, evaluation and side assistance, through increasing the competence of agricultural human resources in the use of technological innovations. Achieved energy savings / fuel costs, absorption of labor, increased income for farmers and farmers and the rural economy through the use of biogas and a variety of processed products. Bio-industrial agricultural activities are strategic activities and challenges to achieve sustainability in the current era of globalization.</i></p> <p style="text-align: right;">Copyright © 2021 JSCR. All rights reserved.</p>

PENDAHULUAN

Produksi limbah/sampah organik yang terus meningkat merupakan salah satu masalah utama lingkungan yang dapat mencemari lingkungan dan ekosistem sekitarnya. Pengelolaan limbah berkelanjutan menjadi prioritas utama, mengurangi polusi dan emisi gas rumah kaca serta perubahan iklim global. Produksi Limbah tanaman-kotoran ternak (padat, cair) dicerna substrat dengan alat digester biogas/biodigester menjadi biogas dan produk ikutannya melalui pencernaan anaerobik (AD=Anaerobic Digestion). AD adalah proses mikrobiologis dekomposisi bahan organik, difermentasi tanpa oksigen oleh bakteri metanogen dalam tangki reaktor kedap udara (digester) untuk menghasilkan dua produk akhir utama: biogas dan digestate (sludge) yang bermanfaat dan bernilai ekonomis serta dapat diperbarui karena dihasilkan dari biomassa. Digestat merupakan substrat yang terdekomposisi, kaya unsur hara makro dan mikro digunakan sebagai pupuk tanaman. Pemanfaatan biogas antara lain: Keuntungan lingkungan dan sosial ekonomi bagi masyarakat dan petani yang terlibat; Manfaat bagi masyarakat; Sumber energi terbarukan; Mengurangi emisi gas rumah kaca dan mitigasi pemanasan global; Mengurangi

ketergantungan pada bahan bakar fosil. Biogas akan meningkatkan keseimbangan energi juga berkontribusi bagi pelestarian sumberdaya alam, perlindungan lingkungan serta meningkatkan kemampuan ekonomi lokal, mengamankan pekerjaan dan daya beli daerah.

Dengan metode deduktif kualitatif, tulisan ini bertujuan mengemukakan secara komprehensif berbagai pemanfaatan limbah tanaman ternak mendukung nilai tambah produk dan peningkatan pendapatan petani peternak, yang diperkaya dengan review berbagai kajian dan literatur terkait. Terprediksinya akselerasi pemberdayaan pengembangan dan peningkatan penggunaan biogas sebagai pemanfaatan bioenergi terbarukan sebagai konsep, implementasi dan pengembangan pertanian bioindustri yang sangat berkaitan dengan optimalisasi pengembangan potensi berbagai faktor produksi. Keberlanjutan pertanian bioindustri dengan sumberdaya alam, lahan, tanaman, ternak termasuk sumberdaya manusia dan ketersediaan teknologi (sebagai basic factor produksi), dapat terwujud jika pemanfaatannya juga sebagai industri penghasil produk olahan, pakan, pupuk dan sebagainya yang memiliki nilai tambah. Penggunaan biogas memungkinkan pengembangan konsep zero wasted management dan konsep pertanian bioindustri berkelanjutan yang terintegrasi dengan aspek sosial ekonomi dan kemampuan SDM masyarakat dan pertanian serta lingkungan. Penggunaan biogas merupakan pilihan tepat sebagai bioenergi terbarukan dan pupuk, serta diperolehnya keuntungan ganda (multi margin), pemberdayaan ekonomi dan kelestarian lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penyusunan tulisan diawali dengan pengumpulan dan me-review berbagai hasil penelitian, tulisan dan literature terkait biogas dan tujuan penulisan. Selanjutnya disusun isi/badan tulisan untuk kemudian diringkas menjadi subbab abstrak yang merupakan ringasan keseluruhan tujuan dan isi tulisan. Secara umum, dengan metode deskriptif kualitatif tulisan ini mengemukakan secara komprehensif berbagai pemanfaatan limbah tanaman ternak mendukung nilai tambah limbah dan peningkatan pendapatan petani peternak, yang diperkaya dengan review berbagai kajian dan literatur terkait. Perolehan nilai tambah dari limbah tanaman ternak dimaksudkan sebagai pemberdayaan peluang dan manfaat ekonomi, usaha, SDM, serta terkait mewujudkan pertanian bioindustri. Turut dikemukakan dua teknologi umum untuk memperoleh biogas, yaitu: (i) proses fermentasi kotoran ternak memakai digester yang didesain khusus dalam kondisi anaerob; (ii) dikembangkannya teori menangkap (menampung) gas metan dari lokasi tumpukan pembuangan sampah tanpa harus membuat digester khusus (Elizabeth, 2017), yang dikemukakan secara ringkas dan padat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Energi dari bahan bakar merupakan faktor penting dan vital setelah bahan pangan bagi keberlangsungan dan keberlanjutan kehidupan dan berlangsungnya berbagai aktivitas ekonomi. Pentingnya akselerasi penciptaan sumber energi alternatif dan terbarukan sebagai substitusi energi migas seiring kian menyusutnya minyak bumi sementara sektor industri meningkat pesat dan penambahan penduduk. Strategi Induk Pembangunan Pertanian (SIPP) 2015-2045 tentang: "Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan Solusi Pembangunan Indonesia Masa Depan" (Manurung. 2013. Kementerian Pertanian. 2014), didasari potensi dan urgensi pengembangan

bioindustri, bioenergi dan bioekonomi berbasis pertanian, landasan strategis dalam pembangunan pertanian jangka panjang dan mainstreaming perspektif bioekonomi di Indonesia. Tiga prinsip pertanian bioenergi dan bioindustri keberlanjutan untuk mengoptimalkan ketahanan energi, meliputi: 1) self financing; 2) menerapkan teknologi skala kecil; dan 3) usaha yang layak teknis dan ekonomis (Lidjang, et al. 2015; dalam Elizabeth. 2019). Integrasi sapi perah dengan kelapa sawit yang menghasilkan susu, minyak sawit, biogas (hasil fermentasi kotoran sapi), dan sludge (pupuk organik) menjadi contoh penerapan tiga prinsip tersebut (Fitri. 2010. Junaedi. 2012).

Sistem Pertanian-Energi Terpadu (SPET) menjadi titik berat Pembangunan Pertanian-Bioindustri tahap pertama, dimana inovasi bioteknologi memaksimalkan hasil biomassa yang dijadikan feedstock penghasil bioenergi (BBIA. 2014. Hendayana. 2015). Inovasi bioengineering untuk mengolah feedstock menjadi energi dan bioproduk (termasuk pupuk organik) untuk mencegah trade-off ketahanan pangan dan energi, maka subsistem bioindustri basic SPET tersebut. Jika seekor sapi potong dewasa rata-rata dapat menghasilkan kotoran minimal sekitar 10% dari bobot tubuhnya, maka terkumpul sekitar 100-2.000 kg/hari kotoran dari 3-5 ekor sapi potong. Diperolehnya nilai ekonomi dari kotoran (feses) ternak, terlebih setelah diolah jadi biogas dan pupuk (sludge dan cair/POC) sebagai hasil ikutannya. Feses ternak segar karena harus dingin/didiamkan dan terkomposisi dengan rasio C/N > 40 agar dapat diaplikasikan pada tanaman (Suharto. 2010. Wijaya. 2011. Adijaya. 2012).

Implementasi bioindustri penghasil bioenergi melalui pengolahan kotoran ternak (sapi, kuda, kerbau, babi, dan unggas) dan limbah tanaman (mengandung persentase karbon C/N tinggi) yang melimpah sebagai bahan baku pembuatan biogas sudah seharusnya di manfaatkan secara maksimal untuk pembuatan biogas. Pemberdayaan dan pentingnya informasi dan bimbingan pembuatan biogas selain untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga, juga diberdayakan menggerakkan usaha agribisnis bioindustri yang menguntungkan.

Pemanfaatan Limbah Tani-Ternak Penghasil Biogas: Inovasi Teknologi Efisiensi BBM Konvensional Inovasi

Biogas, sebagai sumber energi terbarukan, karena pasokan energi global saat ini sangat bergantung pada sumber fosil (minyak mentah, lignit, batu bara keras, gas alam). Ini adalah sisa-sisa fosil tumbuhan dan hewan yang mati, yang telah terpapar panas dan tekanan di kerak bumi selama ratusan juta tahun. Untuk alasan ini, bahan bakar fosil adalah sumber daya yang tidak terbarukan yang cadangannya habis jauh lebih cepat daripada yang baru terbentuk. Perekonomian dunia saat ini bergantung pada minyak mentah. Ada beberapa ketidaksepakatan di antara para ilmuwan tentang berapa lama sumber daya fosil ini akan bertahan tetapi menurut para peneliti, produksi minyak puncak telah terjadi atau diperkirakan akan terjadi dalam periode waktu berikutnya. Keuntungan dan sasaran pengembangan teknologi biogas seperti: menghasilkan energi dan pupuk, mengurangi emisi gas rumah kaca dan bau tak sedap, mencegah penyebaran penyakit, secara ekonomi sangat kompetitif terhadap harga BBM dan pupuk anorganik, nilai tambah ekonomi dan perbaikan lingkungan hidup. Efisiensi energi dan waktu dengan penggunaan biogas, terindikasi dapat menambah pendapatan petani ternak. Inovasi teknologi pada hakekatnya bertujuan meningkatkan pendapatan dan kesejahteraan, terutama bila diimplementasikan secara tepat guna dan bijak. Pemanfaatan biogas dimaksudkan mendapatkan nilai tambah sebagai alternatif dan substitusi bahan bakar konvensional karena

berkurangnya pengeluaran untuk bahan bakar (minyak tanah, gas komersial, arang dan kayu bakar) sehari-hari.

Beberapa keuntungan/nilai tambah terkait lainnya bila menggunakan anaerobik, seperti: 1) keuntungan pengolahan digester, yaitu: digester anaerobik merupakan proses pengolahan limbah yang alami; membutuhkan lahan lebih kecil dibanding proses kompos aerobik atau penumpukan sampah; memperkecil volume atau berat limbah yang dibuang; memperkecil rembesan polutan. 2) Keuntungan Energi, yaitu: proses energi lebih bersih; memperoleh bahan bakar berkualitas tinggi dapat diperbaharui; biogas dapat dimanfaatkan untuk berbagai penggunaan. 3) Keuntungan Lingkungan, yaitu: menurunkan emisi gas metan dan karbon dioksida secara signifikan; menghilangkan bau; memperkecil udara keluar dari sampah; menghasilkan kompos yang bersih dan pupuk kaya nutrisi; memaksimalkan proses daur ulang limbah yang sudah terbuang; menghilangkan bakteri coliform hingga 90% (memperkecil kontaminasi sumber air yang sudah ada). 4) Keuntungan Sosial dan Ekonomi, yaitu: penggunaan kotoran ternak sebagai biogas sumber energi RT dan pupuk tanaman, tentu mengefisienkan pengeluaran rumah tangga petani dan peternak; lebih ekonomis dibandingkan siklus ulang proses pembuatan limbah pertanian; 5) aspek pemberdayaan sosial kelembagaan adalah terjalinnnya sifat sosial dalam kebersamaan dan tenggang rasa antar masyarakat pengguna biogas metan (umumnya terdiri antar kelompok untuk satu sumur/sumber). Mengembangkan dan menerapkan sistem energi terbarukan seperti biogas dari AD, berbasis sumber daya biomassa nasional dan regional, akan meningkatkan keamanan pasokan energi nasional dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar impor.

Kontribusi biogas terhadap target energi dan lingkungan lebih terlihat di Negara berkembang (Eropa umumnya), salah satu prioritas utama kebijakan energi dan lingkungan memerangi pemanasan global adalah. Produksi dan pemanfaatan biogas dari AD berpotensi memenuhi tiga target secara bersamaan: (i) produksi energi terbarukan, (ii) pengurangan emisi GRK, dan (iii) pengelolaan limbah berkelanjutan didasarkan pada komitmen untuk menerapkan langkah-langkah yang tepat untuk mencapainya.

Pengurangan limbah, merupakan salah satu keuntungan utama dari produksi biogas adalah kemampuan untuk mengubah bahan limbah menjadi sumber daya yang berharga, dengan menggunakannya sebagai substrat untuk AD juga dapat berkontribusi untuk mengurangi volume limbah dan biaya pembuangan limbah. Produksi biogas adalah cara terbaik memanfaatkan limbah organik untuk produksi energi, diikuti dengan daur ulang substrat yang dicerna sebagai pupuk.

Penciptaan pekerjaan, AD biogas membutuhkan tenaga kerja untuk: produksi, pengumpulan dan pengangkutan bahan baku, pembuatan peralatan teknis, konstruksi, operasi dan pemeliharaan instalasi biogas. Pengembangan sektor biogas nasional berkontribusi pada pembentukan perusahaan baru, signifikansi beberapa potensi ekonomi, menciptakan lapangan kerja baru dan meningkatkan pendapatan di daerah pedesaan.

Penggunaan akhir biogas yang fleksibel dan efisien. Biogas pembawa energi yang fleksibel dan sesuai untuk berbagai aplikasi sederhana, seperti: penggunaan langsung untuk memasak dan penerangan. Saat ini biogas di banyak negara digunakan untuk

gabungan panas dan pembangkit listrik (CHP) atau ditingkatkan dan dimasukkan ke jaringan gas alam, digunakan sebagai bahan bakar kendaraan, atau di sel bahan bakar.

Manfaat Bagi Petani

Bagi petani yang terlibat, manfaat biogas yang terpenting, seperti: penghasilan tambahan; digestate yang dihasilkan adalah pupuk bermanfaat bagi tanaman dan menarik secara ekonomi memberi pendapatan tambahan bagi petani mereka. Para petani juga mendapatkan fungsi sosial yang baru dan penting sebagai penyedia energi dan operator pengolahan limbah. Sebuah pabrik biogas tidak hanya pemasok energi. Substrat yang dicerna, biasanya disebut digestate, adalah pupuk tanah yang berharga, kaya akan nitrogen, fosfor, kalium dan mikronutrien, yang dapat diterapkan pada tanah dengan peralatan biasa untuk aplikasi pupuk cair. Dibandingkan dengan kotoran hewan mentah, digestate telah meningkatkan efisiensi pemupukan karena homogenitas dan ketersediaan nutrisi yang lebih tinggi, rasio C/N yang lebih baik dan bau yang berkurang secara signifikan.

Fleksibilitas Penggunaan Bahan Baku yang Berbeda

Berbagai jenis bahan baku organik dan dari tempat pembuangan akhir, dapat digunakan membuat biogas, seperti: kotoran hewan dan bubur, sisa tanaman, limbah organik dari produksi susu, industri makanan dan agroindustri, lumpur air limbah, fraksi organik dari limbah padat kota, limbah organik dari rumah tangga dan dari bisnis katering serta tanaman. Produksi biogas dapat diintegrasikan dengan sempurna ke dalam pertanian konvensional dan organik, di mana digestate menggantikan pupuk kimia, yang diproduksi dengan konsumsi energi fosil dalam jumlah besar. Salah satu keuntungan utama dari produksi biogas adalah kemampuan untuk menggunakan jenis "biomassa basah" lebih tinggi dari 60-70% sebagai bahan baku (misalnya lumpur limbah, bubur hewan, lumpur flotasi dari pengolahan makanan, dll.). Belakangan, sejumlah tanaman energi (biji-bijian, jagung, rapeseed), dan tanaman dan hewan yang tak layak dikonsumsi manusia telah banyak digunakan sebagai bahan baku produksi biogas yang sering digunakan sebagai substrat untuk AD (Austria atau Jerman).

Efisiensi dan Kelayakan Ekonomi

Mulai tahun 2000-an telah dikembangkan reaktor biogas skala kecil (rumah tangga) dengan konstruksi sederhana terbuat dari plastik secara siap pasang dan dengan harga yang relatif murah. Dalam skala besar, pembangkit energi yang dihasilkan biogas diharapkan mengurangi ketergantungan terhadap pemakaian bahan bakar minyak bumi yang semakin menipis. Salah satu keuntungan utama dari produksi biogas adalah kemampuan untuk menggunakan jenis "biomassa basah" sebagai bahan baku, semua ditandai dengan kadar air yang lebih tinggi dari 60-70% (misalnya lumpur limbah, bubur hewan, lumpur flotasi dari pengolahan makanan, dll.). Semua jenis sisa pertanian, tanaman yang rusak, tidak cocok untuk makanan atau akibat pertumbuhan dan kondisi cuaca yang tidak menguntungkan, dapat digunakan untuk menghasilkan biogas dan pupuk. Sejumlah produk sampingan hewan, yang tidak layak dikonsumsi manusia, juga dapat diolah di pabrik biogas.

Dari penggunaan biogas, efisiensi dan nilai ekonomi memakai LPG 12 kg menghemat biaya sekitar Rp7000-Rp10000/hari. Bila bahan bakar yang dipergunakan adalah minyak tanah sebanyak 1 - 2 liter per hari dengan harga Rp9000 per liter, akan menghemat sekitar Rp11500 hingga Rp13500/hari. Suatu efisiensi pengeluaran biaya bahan bakar diluar biaya kebutuhan hidup sehari-hari lainnya.

Tabel 1. Analisis Kelayakan Ekonomi

Uraian	Generator Listrik	Reaktor Biogas
Net Present Worth (NPW), Rp	15.985.345	21.789.355
Net Present Cost (NPC), Rp	20.585.775	21.175.385
Net Present Revenue (NPR), Rp	28.868.645	42.073.320
B/C Ratio	1,98	1,41
Simple Payback, tahun	1,84	3,76
Internal Rate Return (IRR), %	41,93	21,67

Sumber: Data Primer dan Sekunder Diolah (Elizabeth. 2021)

Tabel 2. Biaya, Produksi Gas, Pendapatan dan Nilai Tambah (Keuntungan)

Uraian	Generator Listrik	Reaktor Biogas
Biaya investasi (Rp)	10.500.000	18.800.000
Biaya operasional dan perawatan (Rp/tahun)	2.375.000	2.975.000
Umur ekonomi (tahun)	5	15
Umur ekonomi (tahun)	-	7
Produksi gas, m ³ /hari	12	2.555
Produksi gas, m ³ /tahun	9	9
Suku Bunga, %/tahun	9.535.600	9.250.800
Pendapatan, Rp/ tahun	5.065.600	5.000.330
Nilai Tambah (Keuntungan), Rp/tahun		

Sumber: Data Primer dan Sekunder Diolah (Elizabeth. 2021)

Pengembangan Manajemen Biogas: Potensi Pemasok Energi Bioindustri

Berbagai jenis bahan baku dapat digunakan untuk produksi biogas: kotoran hewan dan bubur, sisa tanaman, limbah organik dari produksi susu, industri makanan dan agroindustri, lumpur air limbah, fraksi organik dari limbah padat perkotaan, limbah organik dari rumah tangga dan dari bisnis catering serta tanaman energi. Biogas juga dapat dikumpulkan, dengan instalasi khusus, dari tempat pembuangan akhir. Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi metan (CH₄). Semakin tinggi kandungan metan maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas, dan sebaliknya semakin kecil kandungan metan semakin kecil nilai kalor. Upaya penelitian penting yang dikombinasikan dengan pengalaman skala penuh dilakukan di seluruh dunia, yang bertujuan untuk meningkatkan teknologi konversi, stabilitas dan kinerja operasional dan proses. Digester baru, kombinasi baru substrat AD, sistem pengumpanan, fasilitas penyimpanan, dan peralatan lainnya terus dikembangkan dan diuji.

Bersamaan dengan jenis bahan baku AD tradisional, tanaman energi khusus untuk produksi biogas diperkenalkan di beberapa negara dan upaya penelitian diarahkan untuk meningkatkan produktivitas dan keragaman tanaman energi dan penilaian potensi biogas mereka.

Budidaya tanaman energi membawa praktik pertanian baru dan sistem rotasi tanaman baru akan segera ditentukan, di mana tumpangsari dan budidaya tanaman gabungan juga menjadi subjek penelitian intensif. Pemanfaatan biogas untuk gabungan panas dan produksi listrik (CHP) adalah aplikasi standar untuk bagian utama dari teknologi biogas modern, dimana jaringan peningkatan gas dan stasiun pengisian didirikan dan beroperasi. Peningkatan dan pengumpanan biogas ke jaringan gas alam adalah aplikasi yang relatif baru tetapi instalasi pertama. Kualitas biogas dapat ditingkatkan

dengan memperlakukan beberapa parameter yaitu: Menghilangkan hidrogen sulphur, kandungan air dan karbon dioksida (CO₂) atau yang disebut dengan proses purifikasi.

Desain dan teknologi pembangkit biogas berbeda dari satu negara ke negara lain, tergantung pada kondisi iklim dan kerangka kerja nasional (undang-undang dan kebijakan energi), ketersediaan dan keterjangkauan energi. Berdasarkan ukuran relatif, fungsi dan lokasinya, tanaman AD pertanian dapat diklasifikasikan sebagai: i) Pembangkit biogas skala keluarga (skala sangat kecil); ii) Pembangkit biogas skala peternakan (skala kecil atau menengah hingga besar); iii) Tanaman co-digesti terpusat/bersama (skala menengah hingga besar).

Biogas sebagian besar mengandung gas metan (CH₄) dan karbondioksida (CO₂), dan beberapa kandungan senyawa lain yang jumlahnya kecil diantaranya hidrogen sulfida (H₂S), ammonia (NH₃), hidrogen (H₂), serta oksigen (O₂). Dengan komposisi umum Biogas, yaitu: Metana (CH₄) 55-75%, Karbon dioksida (CO₂) 25-45%, Nitrogen (N₂) 0-0,3%, Hidrogen 1-5%, H₂S 1-5% dan Oksigen (O₂) 0,1-0,5%, merupakan gas yang mudah terbakar (flammable) yang dihasilkan bakteri anaerob dari proses fermentasi (pembusukan) bahan-bahan organik tanpa oksigen dengan waktu yang relatif lama. Biogas merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang berbeda dengan bahan bakar fosil (minyak bumi dan batubara) yang tidak dapat diperbarui.

Pabrik biogas pertanian dianggap sebagai tanaman yang memproses bahan baku yang berasal dari pertanian. Jenis bahan baku yang paling umum untuk tanaman jenis ini adalah kotoran hewan dan bubur, residu sayuran dan produk samping sayuran, tanaman energi khusus (Dedicated energy crop/DEC), tetapi juga berbagai residu dari industri makanan dan perikanan dll. Kotoran hewan dan bubur, dari sapi dan babi produksi, adalah bahan baku dasar untuk sebagian besar pabrik biogas pertanian di Eropa, meskipun jumlah pabrik yang beroperasi pada DEC meningkat beberapa tahun terakhir. AD kotoran hewan dan bubur dianggap meningkatkan nilai pupuknya karena alasan yang tercantum di bawah ini: i) Kotoran dan bubur dari hewan yang berbeda (sapi, babi, unggas, dll.) dicampur dan dicerna, memberikan kandungan nutrisi yang lebih seimbang; ii) AD memecah bahan organik kompleks seperti senyawa nitrogen organik, meningkatkan jumlah nutrisi yang tersedia bagi tanaman; iii) Pencernaan pupuk kandang dengan substrat lain menambahkan berbagai jumlah nutrisi ke dalam campuran bahan baku.

Energi Biogas, jika dibandingkan nilainya dengan energi bahan bakar lain yaitu kalori dalam satu (1) m³ biogas setara dengan: 6 kwh energi listrik; 0,62 liter minyak tanah; 0,52 liter minyak solar atau minyak diesel; 0,46 kg elpiji; 3,50 kg kayu bakar; 0,80 liter bensin; 1,50 m³ gas kota. Campuran gas bio akan mudah terbakar jika kandungan gas metan lebih dari 50%. Nyala api berwarna biru layaknya api dari elpiji dan energi panas yang dihasilkan berkisar sekitar 5200-5900 kcal/m³ gas atau sama halnya dengan memanaskan 65-73 liter air dari suhu 20°C sampai mendidik atau menyalakan lampu dengan daya 50-100 watt selama 3-8 jam. Perhitungan nilai energi yang dihasilkan dari biogas dapat dilakukan yaitu dengan mengasumsi 1 kg kotoran sapi bisa menghasilkan 0,03 m³ gas. Jumlah kotoran yang dihasilkan oleh satu ekor sapi tiap hari sekitar 10 kg. Tabel.5 mengemukakan perkiraan jumlah sapi dewasa (berat 500 kg) untuk menghasilkan sejumlah gas.

Tabel 3. Perkiraan Energi Biogas

No	Biogas (m3)	Jumlah sapi (ekor)	Kotoran (Kg)	Energi (Kcal)
1	2	2-3	20-30	10400-18000
2	3	3-4	30-40	15600-17700
3	4	4-6	40-60	20800-23600
4	6	6-10	60-100	31200-35400
5	8	12-15	120-150	41600-47200

Biogas memiliki keunggulan tingkat nilai kalorinya dibanding beberapa sumber energi lainnya (coalgas dan watergas). Setiap m³ biogas setara dengan 0,5 kg gas alam cair (liquid petroleum gases = LPG), 0,54 liter bensin, 0,52 liter minyak diesel, dan dapat membangkitkan tenaga listrik sebesar 1,25 - 1,50 kilo watt hour (kwh). Di era globalisasi ini, pembuatan biogas kembali digalakkan didasari menurunnya ketersediaan bahan bakar minyak, mengurangi emisi gas metana, dan menghasilkan pupuk organik, menghasilkan gas metan sebagai pengganti bahan bakar khususnya minyak tanah dan dapat dipergunakan untuk memasak, serta energy mengaplikasikan peralatan usaha rumahtangga lainnya. Berbagai upaya yang ditempuh selain dapat menurunkan emisi gas metana dapat pula meningkatkan produktivitas ternak (Junaedi. 2012; Indrawati. 2015; Elizabeth. 2017).

Potensi Pemasok Energi Bioindustri

Sebagai salah satu energi biofuel, biogas sebagai energy produk bioindustri dipergunakan untuk berbagai keperluan, seperti: (i) Bahan bakar untuk memasak, pengeringan, penerangan, atau pekerjaan-pekerjaan lain yang memerlukan pemanasan. Dibutuhkan peralatan yang didisain sehingga efisiensi pembakarannya tinggi; (ii) Sebagai bahan bakar penggerak motor (terutama motor stationer), dan harus dibersihkan dari kemungkinan adanya gas H₂S yang dapat menjadi penyebab korosi; dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti memasak, penerangan, pompa air, boiler, peralatan industry/usaha rumahtangga, dan sebagainya. Biogas menjadi pasar karbon yang dapat memberikan insentif kepada peternak kecil. Demikian juga halnya bila dikaji dari aspek keberlanjutan pengusahaan biogas yang sudah cukup baik dan tidak memiliki dampak negatif, namun masih relatif kurang dari sisi pemasaran dan distribusi energi biogas sebagai subsistem aktivitas bisnis dari produk hasil suatu usaha, diarahkan pada perbaikan mekanisme berbagai pendekatan yang umum berlaku dalam aktivitas suatu usaha pengolahan (Manurung. 2013; Elizabeth. 2015. 2016. 2017a. 2018a).

Biogas yang dihasilkan dialirkan ketempat penampungan biogas untuk dialirkan ke berbagai peralatan sebagai substitusi listrik dan gas, sedangkan lumpur sisa aktifitas fermentasi dijadikan pupuk alami yang dapat dimanfaatkan untuk usaha pertanian maupun perkebunan. Terkait pertanian bioindustri sebagai solusi pertanian masa depan, beberapa aspek trend yang memiliki konsekuensi dan solusi, seperti: (i) semakin pentingnya bioproduk, pola hidup sehat, dan pola konsumsi biokultur seiring semakin meningkatnya kebutuhan pangan, pakan, energi dan serat; (ii) perlunya dorongan peningkatan kapasitas adaptasi dan mitigasi untuk mengantisipasi perubahan iklim global; (iii) perlunya upaya mendorong transformasi ekonomi ke bioenergi yang mengalami dekomposisi anaerob sehingga bisa langsung diaplikasikan. Pada proses fermentasiantisipasi semakin langkanya energi fosil.

Urgensi pengelolaan biogas secara bijak sebagai potensi pengembangan pertanian bioindustri, mencakup beberapa hal, seperti: (i) Pemanfaatan sludge (hasil samping biogas), mengandung berbagai mineral (fosfor, magnesium, kalsium, kalium, tembaga dan seng) yang dibutuhkan oleh tumbuhan, perbaikan unsure tanah, pengganti lapisan tanah bagian atas yang sekaligus bisa melepaskan nutrisi ke tanaman (slurry/effluent), pakan ternak dan ikan, media tanam jamur dan media hidup cacing tanah; dan (ii) berbagai bioproduk lainnya, dan lingkungan (environment); yang merupakan isu global pembangunan pertanian yang harus dihadapi sebagai tantangan untuk dapat mengembangkan pertanian ramah lingkungan dengan penerapan teknologi melalui pengembangan bio-science, inovasi menghadapi perubahan iklim (GCC innovation respon), dan bio-informatik yang mengaplikasikan teknologi informasi (bio- information) dengan selalu mengedepankan kelestarian lingkungan dan SDA (Nielsen; Moller; berbagai download). Pengembangan program hilirisasi dengan dukungan implementasi pembuatan biogas, dengan konsep pertanian-bioindustri yang terkait erat dengan terdapatnya minimal lima tantangan yang dihadapi sektor pertanian saat ini. Kelima tantangan tersebut, meliputi: 1) peningkatan pendapatan petani yang mayoritas berlahan kurang dari 0,5 hektar; 2) tantangan agronomis, untuk meningkatkan produksi pangan dan komoditas pertanian; 3) tantangan demografis, untuk memenuhi kebutuhan pangan penduduk yang terus bertumbuh; 4) tantangan menghadapi perubahan iklim global untuk mewujudkan pertanian berkelanjutan; 5) tantangan untuk memfasilitasi proses transformasi perekonomian nasional dari berbasis fosil ke bioekonomi (Wahyunto, 2005. Hambali, 2004. Menko Ekuin. 2016; dalam: Elizabeth, 2017. Padmowijoto. 2019).

Indonesia memiliki berbagai sumberdaya genotip (SDGS) yang berlimpah sebagai bahan baku. Material berbasis pertanian berpotensi besar untuk menjadi bahan baku bioindustri, serta mampu menghasilkan berbagai jenis bioenergi seperti: biogas, biodiesel, bioetanol, biolistrik dan bioavtur yang dihasilkan dari proses pengolahan lanjutan. Inovasi pengembangan pertanian terintegrasi ternak (ruminansia dan unggas) kian diperlukan seiring makin tingginya tingkat konversi lahan ke tujuan ekonomi lainnya (perdagangan, perumahan, industri, dan sebagainya) mengakibatkan semakin susutnya areal tanam (Balitbangtan. 2013. BPPT. 2013. Bapenas. 2013). Pengimplementasiannya terus ditingkatkan seiring perolehan dan aplikasi penggunaannya yang pemakaiannya untuk meminimalisir ketergantungan migas. Seiring dengan kian menyusutnya minyak bumi yang masih menjadi salah satu sumber energi utama, berbagai bahan dan materi berbasis pertanian dapat diolah lebih lanjut untuk menghasilkan bioenergi pensubstitusi bahan bakar minyak (BBM). Upaya tersebut juga yang ditujukan untuk meningkatkan produksi minyak bumi (misalnya surfaktan dari hasil sintesis minyak sawit) (BBIA, 2014. Hambali et al, 2014). Pengolahan berbagai produk dan limbah berbasis pertanian yang dapat menghasilkannya, dari hasil sintesis dan hasil penyulingan berbagai produk berbasis pertanian lainnya termasuk dari kotoran hewan ternak (sapi, kerbau, kuda, kambing, dan ternak lainnya) (Sutisna. 2015).

Biogas, diharapkan sebagai salah satu solusi yang mampu mensubstitusi kebutuhan migas (BBM) hingga ke tingkat industri. Multi margin diperoleh dengan adanya tambahan pendapatan petani dari pendistribusian biogas, sludge sebagai pupuk (biofertilizer) dan pakan. Biogas merupakan bioenergi dan energi terbarukan (renewable energy) unggul dan penting dalam rangka optimalisasi pemanfaatan bioenergi untuk ketahanan energi, pemberdayaan ekonomi dan kelembagaan

(Elizabeth, 2018). Pembuatan biogas dengan mengolah berbagai bahan dan materi berbasis pertanian-peternakan, juga merupakan salah satu strategi penerapan dan pengembangan bioindustri untuk mendukung tercipta dan berkembangnya program hilirisasi di pedesaan (Elizabeth, 2018). Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan Solusi Pembangunan Indonesia Masa Depan sebagai awal pencanangan. Hal tersebut didasari kesadaran terhadap potensi dan urgensi pengembangan bioindustri, bioenergi dan bioekonomi berbasis pertanian, landasan strategis dalam pembangunan pertanian jangka panjang dan mainstreaming perspektif bioekonomi di Indonesia (Kementan, 2013. Kasryno. 2013. Suswono. 2013; dalam Elizabeth. 2018a).

Titik lemah perekonomian Indonesia tercermin pada belum optimalnya pemanfaatan berbagai sumberdaya alam termasuk limbahnya sebagai bahan baku, yang mencerminkan belum optimalnya pergerakan di sektor riil. Kondisi tersebut berdampak pada terbatasnya kesempatan kerja dan berusaha, dimana Pemerintah hingga saat ini masih berkutat dalam masalah krusial penanggulangan tingkat kemiskinan dan meningkatnya pengangguran. Bioindustri merupakan upaya/kinerja/proses usaha industri dalam: (i) menambah kapasitas untuk memperbesar volume produksi pertanian; (ii) meningkatkan dan mengembangkan produksi dan limbah hasil pertanian menjadi produk olahan yang lebih bernilai tambah dan beragam, berdayasaing, serta multi utility; dan (iii) dimaksudkan untuk mengubah paradigma dan pola pikir (mindset) bahwa sistem pertanian tidak hanya usahatani penghasil bahan konsumsi saja (Elizabeth. 2013. 2014; 2018). Perencanaan dan pelaksanaan pembangunan pertanian di pedesaan, hendaknya ditekankan perbaikan dan pembenahan ragam bioindustri yang mampu memotori industrialisasi pedesaan, yang berdayaguna dan berhasilguna serta ke arah peningkatan pendapatan, kesempatan kerja dan berusaha di pedesaan. Pengembangan usaha bioindustri pengelola SDA dengan baik dan lestari lingkungan, baik dari aspek ekonomi, sosial dan kelestarian lingkungan dengan benar dan bijak terutama di pedesaan, mengindikasikan adanya peningkatan kualitas dan kompetensi SDM dan tentunya berdampak pada bertambahnya perolehan pendapatan yang disinyalir mampu mewujudkan kemandirian dan ketahanan pangan dan kesejahteraan petani. Konsep sistem pertanian bioindustri pada prinsipnya mengoptimalkan pemanfaatan dan pengelolaan sumberdaya hayati termasuk biomassa dan limbah pertanian, bagi kesejahteraan masyarakat dalam suatu ekosistem secara harmonis (Elizabeth. 2013; Hendriadi. 2013; FKPR. 2014; Biro Roren. 2014). Secara luas, pertanian bioindustri adalah usaha pengolahan sumberdaya hayati dan SDA untuk menghasilkan berbagai produk olahan pertanian yang lebih bernilai ekonomi dengan bantuan teknologi industri. Pengolahannya tidak sebatas upaya meningkatkan hasil pertanian saja, namun mengolah hasil pertanian menjadi produk yang bernilai, memiliki nilai tambah, berdayasaing, dan bervariasi, sehingga dapat meningkatkan ekonomi masyarakat (Hendayana, 2015).

Pertanian bioindustri secara harfiah mengandung arti sebagai melakukan usaha pertanian berbasis industri, dimana pendekatan bioindustri di bidang pertanian merupakan salah satu implementasi konsep pengembangan bio-teknologi. Pemahaman pertanian bioindustri adalah merupakan pengelolaan dan/atau pemanfaatan sistem pertanian secara optimal dan harmonis seluruh sumberdaya hayati termasuk biomassa dan/atau limbah pertanian untuk kesejahteraan masyarakat dalam suatu ekosistem (Hendriadi, 2013; Prastowo, 2014), dan

berkelanjutan. Sementara itu, prinsip dari konsep bioindustri adalah proses produksi yang mampu menghilangkan dampak polusi dan juga menawarkan berbagai produk yang tidak merusak yang tidak merusak lingkungan. Sementara itu, pada prinsipnya, pertanian bioindustri adalah pertanian minimum terhadap: limbah dan imported input dan energi, pertanian pengolah biomassa dan limbah menjadi bioproduk baru bernilai tinggi, ramah lingkungan, terpadu dan sebagai birefinery (kilang/industri pengolahan biologi) berbasis iptek maju (Lesmana; Birkmose; Sunarso; FKPR, 2014; dalam: Sutisna, 2015). Dengan demikian, pengembangan pertanian bioindustri sangat berkaitan dengan sumberdaya lahan, tanaman dan ternak termasuk sumberdaya manusia dan ketersediaan teknologi. Oleh karena itu, seperti yang dikemukakan Sutisna (2015), bahwa peluang pengembangan pertanian bioindustri bergantung pada potensi dari berbagai sumberdaya, diantaranya meliputi: potensi wilayah, cabang usaha pertanian produktif, potensi produk, dan ketersediaan teknologi.

SIMPULAN DAN SARAN

Pemanfaatan limbah tanaman ternak mendukung nilai tambah produk dan peningkatan pendapatan petani peternak terkait konsep, implementasi dan pengembangan pertanian bioindustri sangat berkaitan dengan optimalisasi pengembangan potensi berbagai faktor produksi. Optimalisasi sumberdaya alam, lahan, tanaman, ternak termasuk sumberdaya manusia dan ketersediaan teknologi, yang dapat terwujud jika pemanfaatannya juga sebagai industri penghasil produk olahan, pakan, pupuk dan sebagainya yang memiliki nilai tambah signifikan.

Multi margin dari pembuatan biogas merupakan pilihan yang tepat mendukung optimalisasi pemanfaatan bioenergi, mewujudkan ketahanan energi dan pemberdayaan ekonomi dipedesaan serta kelestarian lingkungan. Perlu dikomplementasikan dengan pembenahan struktur dan efisiensi bioindustri di pedesaan sehingga pendapatan petani peternak dapat ditingkatkan dan upaya yang bersifat inklusif dan integratif dalam peningkatan kesejahteraannya.

Perlunya dukungan peningkatan dan pengembangan teknologi biogas sebagai salah satu bioindustri di pedesaan untuk penganekaragaman produksi dan kesempatan bekerja dan berusaha di bidang industri berbasis pertanian. Perlunya keberpihakan dan dukungan kepada petani dan kelompok tani sebagai pemberdayaan kelembagaan di pedesaan dengan program kebijakan pelatihan dan bimbingan teknologi secara intensif dan berkesinambungan untuk mewujudkan penguatan pengolahan berbasis pertanian, termasuk limbah pertanian dari subsistem hulu (budidaya) sampai dengan subsistem hilir (pemasaran dan menjadi pelaku usaha produk olahan) sesuai dengan konsep *value chain market based solution*.

Peran penting pengembangan konsep pertanian berkelanjutan pada sistem integrasi tanaman ternak berbasis zero wasted management dan produk pertanian olahan berdayasaing dalam kaidah pertanian bioindustri dengan mengintegrasikan berbagai aspek sosial ekonomi masyarakat pertanian dan aspek lingkungan serta sumberdaya setempat. Peran penting improvement monitoring, evaluasi dan pendampingan berpihak, melalui peningkatan kompetensi SDM pertanian dalam pemanfaatan inovasi teknologi. Penggunaan biogas menghasilkan penghematan energi/biaya bahan bakar, penyerapan tenagakerja, peningkatan pendapatan petani peternak, dan ekonomi pedesaan melalui pemanfaatan biogas.

DAFTAR PUSTAKA

- Adijaya, I. Nyoman dan I. M. R. Yasa. 2013. *Hubungan Konsumsi Pakan dengan Potensi Limbah Pada Sapi Bali untuk Pupuk Organik Padat dan Cair*. BPTP. Bali.
- Badan Litbang Pertanian. 2014. *Rencana Strategis Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Tahun 2015-2019*. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian.
- Balai Besar Industri Agro Bogor (BBIA. Bogor). 2014. *Pengembangan Industri Agro di Indonesia*. Makalah disampaikan pada Seminar Forum Komunikasi Kelitbangan (FKK) Kementan, Serpong, 14 Mei 2014.
- Bappenas. 2013. *Studi Pendahuluan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) Bidang Pangan dan Pertanian 2015-2019*. Bappenas. Jakarta.
- BBPT. 2013. *Outlook Energi Indonesia 2013: Pengembangan Energi dalam Mendukung Sektor Transportasi dan Industri Pengolahan Mineral*. Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi (PTPSE), BPPT. Jakarta.
- Biro Perencanaan Kementan. 2014. *Strategi Induk Pembangunan Pertanian (SIPP) 2015-2045*. Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Birkmose, T. 2002. *Centralised Biogas Plants. Landscentret, Planteavl*. ISBN 87 7470 829 5. https://www.google.com/search?q=Centralised+Biogas+Plants.+Landscentret%2C+Planteavl.+ISBN+87+7470+829+5.&safe=strict&client=firefox-b&sxsrf=ALeKk03pDMEqnkDk6p_A1oPBHM6y8H-hkw%3A1624055956851&ei=ICDNYJexM8uAyAO9Z2oBg&oq=Centralised+Biogas+Plants.+Landscentret%2C+Planteavl.+ISBN+87+7470+829+5.&gs_lcp=Cgdn3Mtd2l6EAW6BwgjEOoCECc6BwguEOoCECdQqKYJWIr5CWCghQpoA3ACeACAAfIBiAHyAZIBAztMZgBAaABAaABAqoBB2d3cy13aXqwARTAAQE&scient=gws-wiz&ved=0ahUKEwiXy5zzn6LxAhVLAHIKHZ96B2UQ4dUDCA0 Download Juni 2021
- Elizabeth. 2018. *Akselerasi Agroindustri Dan Nilai Tambah: Faktor Pendukung Pencapaian Daya Saing Produk Dan Percepatan Pembangunan Pertanian Di Indonesia*. OJS. Online Jurnal System. UNES (Univ. Ekasakti). Padang. Sumatera Barat.
- Elizabeth. 2018a. *Akselerasi Pencapaian Daya Saing Produk Agroindustri Melalui Revitalisasi Berkesinambungan Implementasi Pemberdayaan Kelembagaan Pertanian*. Buku. Puslitbangtan. Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Elizabeth. R. 2017. *Revitalisasi Industri Produk Olahan Dan Pemberdayaan Lembaga Kemitraan Mendukung Peningkatan Pemasaran, Daya Saing Dan Kesejahteraan Petani Pisang*. Journal of Agricultural Sciences. UNES. (Universitas Ekasakti). Padang Sumatera Barat. Volume 2. Issue 1. June 2017. ISSN Cetak: 2528-5556. ISSN Online: 2528-6226.
- Elizabeth. R. 2017a. *Akselerasi Pemberdayaan dan Peningkatan Kompetensi Dalam Sistem Produksi Untuk Mengatasi Permasalahan Ekonomi Di Indonesia*. Volume 2. Issue 1. June 2017. ISSN Cetak: 2528-5556. ISSN Online: 2528-6226.
- Elizabeth, R. 2016. *Pemberdayaan Petani Dalam Pengelolaan Tanaman Dan Ternak Guna Meningkatkan Kesejahteraan Petani*. Prosiding Seminar Nasional Agustus 2016.

- BPTP Sulawesi Utara. Manado. Badan Litbang Pertanian. Sekretaris Jenderal Pertanian. Kementerian Pertanian.
- Elizabeth. R. 2015. *Pencapaian Daya Saing Melalui Peningkatan Teknologi Pengolahan, Peningkatan Kelembagaan Dan Pemasaran Produk Pangan Olahan*. PERHEPI. Tema: Indonesia Menuju Swasembada Pangan Dalam Tiga Tahun Kedepan: "Tinjauan Konseptual, Teoritis dan Empiris". Kendari, 9 Maret, 2015.
- Elizabeth. R. 2014. *Mewujudkan Kemandirian Dan Ketahanan Pangan Melalui Revitalisasi Dan Pengembangan Infrastruktur Pertanian*. Konferensi Nasional XVII dan Kongres XVI PERHEPI. IPB International Convention Center (IICC). Bogor. 28-29 Agustus 2014.
- Elizabeth, R. 2013. *Potensi Sumberdaya Lokal Sebagai Pakan Ternak Untuk Kecukupan Populasi Sapi Potong Dalam Analisis Ekonomi Prosiding Seminar Nasional: "Pengembangan Ekonomi Kreatif Berbasis Komoditas Pertanian Di Indonesia"*. Fapet. UNS. 26 Januari 2013. ISBN: 978-602-19392-1-5.
- Entis Sutisna. 2015. *Perspektif Pengembangan Pertanian Bioindustri Di Papua Barat. Bunga Rampai: Perspektif Pengembangan Model Pertanian Bioindustri*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. IAARD Pers. 2015
- Fauzi Aziz. 2014. *Hilirisasi Cermin Politik Industri*. Bisnis Indonesia. <http://www.neraca.co.id/bisnis-indonesia>. (download 28 Oktober 2018).
- Fitrin DW. 2010. *Desa Mandiri Energi : Solusi Perekonomian Indonesia di Abad 21*. [Terhubung Berkala]. <http://www.kamase.org/?p=954>. 9 Mei 2021.
- <http://www.bebeja.com/biogas-sampah-sayuran-2/>, diunduh 20 Mei 2021, 06.09 wib.
- <http://beranda.miti.or.id/membangun-kedaulatan-energi-melalui-pengembangan-energi-alternatif/>, diunduh 4 Juni 2021, pukul 20.48 wib
- Hambali. E. 2014. *Peran Pertanian dalam Membantu Mewujudkan Kemandirian Energi*. Semnas Hari Pangan Sedunia (HPS) ke 34. Makassar, 4 November 2014. Pusat Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian (PSEKP). Bogor. Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Hambali, E., B.T.H. Marbun dan M. Rivai. 2014. *Esterifikasi Gliserol Hasil Samping Industri Biodiesel Olein Sawit sebagai Water-Based Mud*. Buku Penelitian Unggulan. IPB Press.
- Haryono. 2014. *Ketersediaan Teknologi Siap Guna Dalam Pengembangan Sistem Pertanian Bioindustri Berbasis Pangan Lokal Potensial*. Semnas Hari Pangan Sedunia (HPS) ke 34. Makassar, 4 November 2014. Pusat Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian (PSEKP). Bogor. Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Ignas K. Lidjang, Amirudin P., H. H. Marawali. 2015. *Pendekatan Pengembangan Pertanian Bioindustri Berkelanjutan di NTT*. Buku "Perspektif Pengembangan Model Pertanian Bioindustri." Badan Litbang Pertanian. Jakarta. IAARD Press. ISBN 978-602-6916-32-7.
- Indrawati, S. 2015. *Pembangkitan Biogas dari Kotoran Sapi: Hidrolisis Termal Pada Tahap Pengolahan Pendahuluan*, Jurnal Teknik Kimia, Institut teknologi sepuluh Nopember, Surabaya.

- I Putu Dody Lesmana, Beni Widiawan. *Small Scale Biogas Production in a Dairy Farming at Kaligondo Sub-district, Banyuwangi, East Java*. Department of Information Technology, Politeknik Negeri Jember, Jember. The First International Conference Of Food and Agriculture. ISBN 9 7987-86-06022-1-144991177--77--55
Download Juni 2021
- Junaedi, M. 2012. *Pemanfaatan Energi Biogas di Perusahaan Susu Umbul Katon Surakarta*, Laporan Program Vucer 2002, Dikti-UMS, Surakarta.
- Kementerian Pertanian. 2013. *Dokumen SIPP (Strategi Induk Pembangunan Pertanian) 2015-2045 mengenai: "Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan Solusi Pembangunan Indonesia Masa Depan."* Kementan. Jakarta
- _____. 2013. *Dokumen Pendukung. Konsep Strategi Induk Pembangunan Pertanian 2015-2045*. Pertanian Bioindustri Berkelanjutan. Solusi Pembangunan Pertanian Indonesia Masa Depan. Kementerian Pertanian.
- Manurung, R. 2013. *Pengembangan Sistem Pertanian Bioindustri Berkelanjutan. Materi Sosialisasi Strategi Induk Pembangunan Pertanian (SIPP) 2013-2045*. Pusat Pelatihan Manajemen dan Kepemimpinan Pertanian.
- Padmowijoto, S., S. Priyono, dan B. Suhartanto 2019. *Pemanfaatan Kotoran Ternak Sebagai Sumber Pupuk Organik Biogas dan Makanan Ternak*. Paper Seminar on *Development of Tropical Resources and Effective Utilization of Energy in Agriculture*.
- Prastowo, B. 2014. *Pengembangan Pertanian Bioindustri: Konsep, Arah, dan Strategi*. Makalah dalam Raker BBSDLP. Bandung, 25-28 Pebruari. 2014.
- SIPP. 2013. *Strategi Induk Pertanian 2013-2045: Membangun Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan*. Sidang Kabinet Terbatas. Jakarta.
- Suswono. 2013. *Sambutan Menteri Pertanian dalam Buku SIPP (Strategi Induk Pembangunan Pertanian) 2015-2045*. Kementerian Pertanian. 2014.
- Sutisna, E. 2015. *Perspektif Pengembangan Pertanian Bioindustri di Papua Barat*. Buku "Perspektif Pengembangan Model Pertanian Bioindustri." Badan Litbang Pertanian. Jakarta. IAARD Press. ISBN 978-602-6916-32-7.
- Wijaya K. 2011. *Community Empowerment (Ce) Melalui Perintisan Keluarga Mandiri Energi (Kme) Berbasis Biofuel*. [Terhubung Berkala]. <http://pse.ugm.ac.id/?p=324>. 29 Mei 2021.