

Pemanfaatan Efluen Biogas Untuk Produksi Pupuk Organik Padat di Wilayah Gunungkidul

Utilization of Biogas Effluent For Solid Organic Fertilizer Production In Gunungkidul Regency

Anggita Sari Praharasti^{1*}, Andi Febrisiantosa¹, Tri Hadi Jatmiko¹, Satriyo Krido Wahono¹, Dwi Joko Prasetyo¹, Diah Pratiwi¹, Ria Suryani¹, Wahyu Anggo Rizal¹, Nana Hidayat¹, Andri Suwanto¹

¹Pusat Riset Teknologi dan Proses Pangan, Badan Riset dan Inovasi Nasional
Jln Jogja-Wonosari km 31,5, Gading, Playen, Gunungkidul, DI Yogyakarta

*E-mail :praharasti@gmail.com

ABSTRACT

Utilization of biogas by-products is expected to increase the beneficial aspects of the existence of a biogas reactor as a source of input for small-scale agriculture, despite the main function as a renewable energy supply. In this study, formulation of solid fertilizer from biogas solid waste and evaluation of formulation yields have been done. Solid (sludge) waste from the biogas reactor were separated and mixed with another biomass for further processing into fertilizer or nutrients for plants. Two formulations have been made (3 kg each) with treatments of one week fermentation with once back stirring (P1) and two weeks fermentation with twice back stirring (P2) aimed to identify the difference between the two samples based on the quality of solid fertilizers produced. The evaluation tests were pH, water content, C-organic, C/N ratio, by-products substance, NPK total, Fe total, and Zn total. The data were analyzed statistically using independent t-test Parametric Statistic for normally distributed and/or homogeneity data and also Mann Whitney Non-Parametric Statistic for the opposite. The test results of the fertilizer formula showed a pH value of around 6-7 with water content value of 52-67%. C-Organic value resulted was 25.89±3.10 (P1) and 21.35±1.99 (P2). The resulting C/N ratio was 25,89±3.10 (P1) and 21.35±1.99 (P2). By-products substances, NPK total, Fe total, and Zn total parameter were in accordance with the quality standard of solid fertilizer. Further development efforts are needed to adjust the moisture content of the developed formulation. Moisture content was estimated to affect shelf life, in relation to the number of live microbes as a quality control.

Keywords: fertilizer; livestock manure; pH; sludge; water content

Disubmit: 19 November 2021; **Diterima:** 21 Juni 2022; **Disetujui :** 30 Mei 2023

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris yang memiliki limbah biomassa yang sangat melimpah dari pertanian dan peternakan. Limbah (efluen) biomassa dari pertanian dan peternakan ini dapat diolah menjadi biogas melalui proses anaerob di dalam biodigester. Dari digester anaerobik akan didapatkan biogas dengan komponen penyusunnya adalah gas metana (50% -75%), karbon dioksida (25%-50%) (Dahl, 2003), dan beberapa gas lainnya dalam jumlah yang sangat kecil. Dari pembakaran tiap kilogram gas metana akan



Lisensi

Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons Atribusi-BerbagiSerupa 4.0 Internasional.

didapat energi sebesar 55 MJ. Sebagai pembanding, pembakaran satu kilogram minyak tanah akan menghasilkan energi 46 MJ (Zahid et al, 2004). Teknologi biodigester ini telah banyak diaplikasikan untuk konversi limbah biomassa menjadi biogas di Indonesia, tetapi pemanfaatan dari biogas yang dihasilkan itu sendiri masih terbatas pada pemanfaatan skala kecil untuk kebutuhan memasak rumah tangga. Di sisi lain, limbah peternakan pada umumnya langsung digunakan sebagai kompos padat ke lahan-lahan pertanian. Rantai integrasi yang demikian belum maksimal karena sebelum limbah kotoran ternak masuk ke lahan-lahan pertanian masih bisa diambil manfaat lain dalam sektor energi tanpa menghilangkan aspek pemanfaatannya untuk kesuburan tanah pertanian.

Efluen (buangan) digester biogas sering kita sebut dengan *slurry/ sludge*. *Slurry* merupakan hasil pengolahan biogas berbahan kotoran ternak dan air melalui proses tanpa oksigen (anaerobik) didalam ruangan tertutup yang berbentuk lumpur. *Slurry* biogas merupakan pupuk organik yang mengandung bahan makro dan mikro yang sangat dibutuhkan oleh tanaman. Proses pemisahan padatan dan cairan *slurry* menghasilkan dua jenis pupuk yaitu pupuk organik padat dan pupuk organik cair. Beberapa cara yang dilakukan untuk proses pemisahan *slurry* antara lain, yaitu dengan pemerasan manual, penyaringan, atau dengan penggunaan alat pres (contohnya *belt press*). Pupuk padat organik adalah pupuk dari hasil penguraian/ pendegradasian campuran bahan-bahan organik yang berasal dari sisa tanaman, kotoran hewan, atau kotoran manusia dengan hasil akhir berbentuk padat (Avivi, Anastasia and Izatti, 2014; Fitrah and Amir, 2015; Natsir, 2016; Nurjannah *et al.*, 2019) Efluen biogas mengacu pada bahan limbah yang dibuang atau dikeluarkan dari digester setelah proses pencernaan anaerobik berlangsung. Limbah ini dapat mengandung sisa bahan organik, nutrisi, dan zat yang berpotensi berbahaya (Barzallo-Bravo *et al.*, 2019; Issah, Kabera and Kemausuor, 2020; Shakeri Yekta *et al.*, 2021).



Gambar 1. Produk Padat dan Cair Efluen Digester Biogas

Pupuk organik padat adalah jenis pupuk yang terdiri dari bahan nabati atau hewani, yang merupakan hasil sampingan atau hasil akhir dari proses alam. Bahan-bahan tersebut dapat berupa kotoran hewan, bahan organik yang dikomposkan, dan limbah pertanian. Pupuk organik kaya akan nutrisi esensial tanaman dan berfungsi sebagai sumber nutrisi lepas lambat untuk tanaman (Green, 2015; Li and Cai, 2022).

Proses pembuatan pupuk organik padat telah dilakukan oleh beberapa peneliti, antara lain penelitian yang dilakukan oleh Nurjannah dkk yang membahas tentang pembuatan pupuk padat organik dari efluen biogas dengan menambahkan karbon tempurung kelapa, ampas tahu, dan kotoran kambing untuk meningkatkan unsur C dan N (Nurjannah, Arfah and Fitriani, 2018). Pada studi yang dilakukan oleh (Muanah, 2019) membahas mengenai pembuatan pupuk organik padat dengan hanya melakukan pengeringan efluen biogas. Sementara itu pada penelitian yang lain, (Suniantara, Putra and Ayuni, 2019) memproduksi pupuk organik yang dibuat yaitu limbah biogas dengan menambahkan serbuk kayu, pemicu organisme, limbah pakan yang berasal dari dedaunan dan abu serbuk kayu dengan tujuan menurunkan rasio C/N.

Penelitian mengenai penggunaan hasil samping biogas atau *slurry/sludge* biogas dibandingkan dengan bahan lain kotoran sapi yang digunakan secara langsung untuk tanaman telah cukup banyak berkembang. Salah satu hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *slurry* biogas (B) lebih baik daripada pupuk mineral (CK), walaupun penggunaan kotoran sapi (M) dan jerami (S) lebih baik daripada *slurry* biogas (B)

(Liu et al., 2019). Pengembalian jerami pada tanah pertanian (S) menurut penelitian tersebut merupakan pengganti penggunaan kotoran sapi yang terbaik (M). Hal ini juga didukung penelitian lainnya yang menggunakan slurry biogas sebagai sumber nutrisi untuk pertanian ramah lingkungan (Kumar et al., 2015). Limbah biogas yang keluar dari reaktor biogas - the digested biogas slurry (DBGS) potensial digunakan pada masa pertumbuhan vegetatif dan reproduktif pada tanaman lahan dengan keberlanjutan jangka panjang yakni mengurangi kebutuhan pupuk sintetis di India. Kombinasi slurry biogas dengan pupuk sintetis meningkatkan transformasi C:N pada tanaman dan meningkatkan hasil sebesar 6.5%, 8.9%, 15.2% dan 15.9% dari kapas, gandum, jagung, dan beras secara berturut-turut. Selain itu, rata-rata komposisi slurry biogas adalah 1.5% N, 1.1% P and 1% K yang lebih tinggi dibandingkan komposisi N, P, dan K pada kompos dan Farm Yard Manure (FYM).

Penelitian mengenai karakterisasi dan penggunaan bioslurry dari digester anaerobic untuk pupuk juga dilakukan oleh (Wagaw, 2016). Slurry biogas mengandung nutrisi makro dan mikro yang cukup banyak selain tentu saja bahan organik. Hasil uji coba pada tanaman bawang menunjukkan bahwa slurry biogas tipe cair memiliki efektivitas lebih rendah daripada tipe padat (kompos) dan pupuk komersial. Pada penelitian tersebut dijelaskan bahwa tanaman bawang dengan menggunakan slurry biogas tipe cair memiliki produktivitas sebesar 0,83 kg/m² sedangkan tipe padat (kompos) produktivitasnya sama dengan tanaman bawang dengan pupuk komersial yakni 1,5 kg/m². Sedangkan saat diuji coba dengan menggunakan tanaman cabai, slurry biogas tipe padat (kompos) memiliki nilai produktivitas tertinggi (3,75 kg/m), dibanding aplikasi slurry biogas tipe cair (2,5 kg/m²) dan pupuk komersial (3,5 kg/m²).

Sistem teknologi biogas dan dilanjutkan dengan sistem pertanian terpadu (integrated farming system) telah dikembangkan pada tahun 2006 – 2010 dengan berbagai UMKM di antaranya di Jawa Tengah, Bengkulu, Nusa Tenggara Timur, dan Padang (Julendra et al., 2013) Selain itu, telah dikembangkan pula sistem pemurnian biogas oleh (Wahono and Rizal, 2014) yang dapat meningkatkan kandungan gas metan sebesar 5-20% . Nilai kalor biogas yang naik karena peningkatan kandungan metan tersebut pada perkembangannya dapat juga digunakan dalam peningkatan performa biogas untuk pembangkit listrik (Wahono et al., 2010). Pemanfaatan biogas dari limbah tahu juga sudah dikembangkan oleh UMKM di Gunungkidul (Wahono, Febrisiantosa and Maryana, 2008; Prasetyo, Rizal and Jatmiko, 2016).

Studi ini meliputi formulasi dan karakterisasi hasil formulasi pupuk padat limbah biogas. Pengujian pada kedua formula bertujuan untuk mengetahui apakah ada perbedaan kualitas pupuk padat akibat variasi intensitas pembalikan dan lama waktu fermentasi meliputi parameter pH, kadar air, C Organik, C/N Rasio, Bahan Ikutan, NPK total, Fe total, dan Zn total. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif integrasi ternak-tanaman di Kabupaten Gunungkidul atau dapat dikembangkan di daerah lain dengan penyesuaian yang dibutuhkan dalam mendukung ketersediaan pupuk yang lebih murah dan lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan penggunaan urea 100%.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini fokus pada penggunaan efluen biogas menjadi pupuk padat. Untuk memperoleh pupuk padat yang baik persyaratan uji kualitas pupuk padat organik harus terpenuhi. Pupuk padat diformulasi menggunakan limbah padat biogas dicampur dengan biomassa dan bahan lain. Limbah padat biogas diambil dari reaktor biogas tipe fixed dome dengan sumber bahan organik kotoran sapi yang ada di desa Nglanggeran, Gunungkidul, DI Yogyakarta. Formulasi dilakukan di Pusat Riset Teknologi dan Proses Pangan, BRIN Gunungkidul, DI Yogyakarta pada Bulan Agustus-Desember Tahun 2019.

Secara rinci bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain limbah padat biogas, aktivator mikroba, molase, abu bakaran kotoran ternak, bekatul, dan air yang ditambahkan pada limbah padat biogas. Tahapan kegiatan ini meliputi uji coba formulasi dan identifikasi kualitas formula yang diperoleh meliputi parameter kadar air (Metode Gravimetri) dan pH (diukur menggunakan pH meter Eutech PC 700, Thermo

Scientific, IL, USA). Spesifikasi digester biogas yang dibangun adalah floating roof dengan diameter 1,22 meter dan tinggi 2 meter dengan kedalaman galian 3 meter.

Limbah padat biogas, bekatul, dan abu bakaran kotoran ternak dicampur secara homogen, selanjutnya dilakukan penambahan molase yang dilarutkan dengan air, kemudian dilakukan penambahan aktivator mikroba. Langkah selanjutnya adalah dilakukan fermentasi semi-anaerob dengan cara menutup campuran tersebut dengan terpal pembungkus. Formulasi dilakukan dengan 2 variasi yakni P1 dan P2 untuk melihat rentang kualitas pada perbedaan waktu fermentasi dan intensitas pembalikan. Pada perlakuan P1 masa fermentasi sesuai dengan Gambar 1 yakni selama 2 minggu, dengan intensitas pembalikan sebanyak 2 kali, sedangkan pada P2 masa fermentasi hanya 1 minggu dengan intensitas pembalikan sebanyak 1 kali. Fermentasi yang berhasil menghasilkan padatan dengan tekstur remah di seluruh bagian secara homogen.

Komposisi campuran bahan pupuk padat yang diformulasikan ditampilkan pada Tabel 1. Sedangkan cara membuat pupuk padat limbah biogas ditampilkan pada Gambar 2. Limbah berupa ampas biogas atau disebut juga dengan sludge sebanyak 70% volume ampas dan abu, bersama dengan abu sebanyak 30% volume ampas dan abu dicampurkan merata. Setelah campuran merata, 1 kg bekatul dicampurkan pada campuran. Selanjutnya 800 ml tetes tebu diencerkan dengan air sebanyak 30 liter (jika kondisi campuran kering), atau 10 liter (jika kondisi campuran basah). Pada kedua perlakuan (P1 dan P2), penambahan tetes tebu adalah sebanyak 10 liter. Larutan tetes tebu tersebut disiramkan pada campuran secara merata, dengan disisakan sedikit untuk mengencerkan sejumlah 250 ml starter/aktivator mikroba. Starter/aktivator mikroba yang diencerkan dengan sisa air selanjutnya disiramkan pada campuran secara merata. Selanjutnya campuran diaduk secara merata dan dilakukan fermentasi anaerob selama 2 minggu dengan kelembaban terjaga baik dan pembalikan sebanyak 2 kali (P1), serta selama 1 minggu dengan kelembaban terjaga baik dan pembalikan sebanyak 1 kali (P2).

Pupuk padat yang dihasilkan selanjutnya disimpan pada suhu ruang selanjutnya diuji nilai pH, kadar air, C-organik, rasio C/N, bahan ikutan, NPK total, Fe total, dan Zn total. Pengambilan data kadar air dan pH dilakukan dengan 3 kali ulangan di Laboratorium Tanah, Tanaman, Pupuk, Air, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (BPTP) Yogyakarta. Data-data yang diperoleh selanjutnya dianalisa statistik Independent t-test untuk statistik parametrik dan Mann-Whitney untuk statistik non parametrik menggunakan SPSS 16.0, dengan terlebih dahulu melakukan pengujian normalitas dan homogenitas data.

Tabel 1. Komposisi perlakuan yang diuji

| Perlakuan | P1* | P2** | Satuan |
|-----------------------|------------|-------------|---------------|
| Ampas biogas | 70 | 70 | % |
| Abu bakaran | 30 | 30 | % |
| Tetes tebu | 800 | 800 | ml |
| Bekatul | 1 | 1 | kg |
| Aktivator mikroba | 250 | 250 | ml |
| Air | 10 | 10 | liter |
| Waktu fermentasi | 2 | 1 | minggu |
| Intensitas pembalikan | 2 | 1 | kali |

*fermentasi anaerob selama 2 minggu dengan kelembaban terjaga baik dan pembalikan sebanyak 2 kali

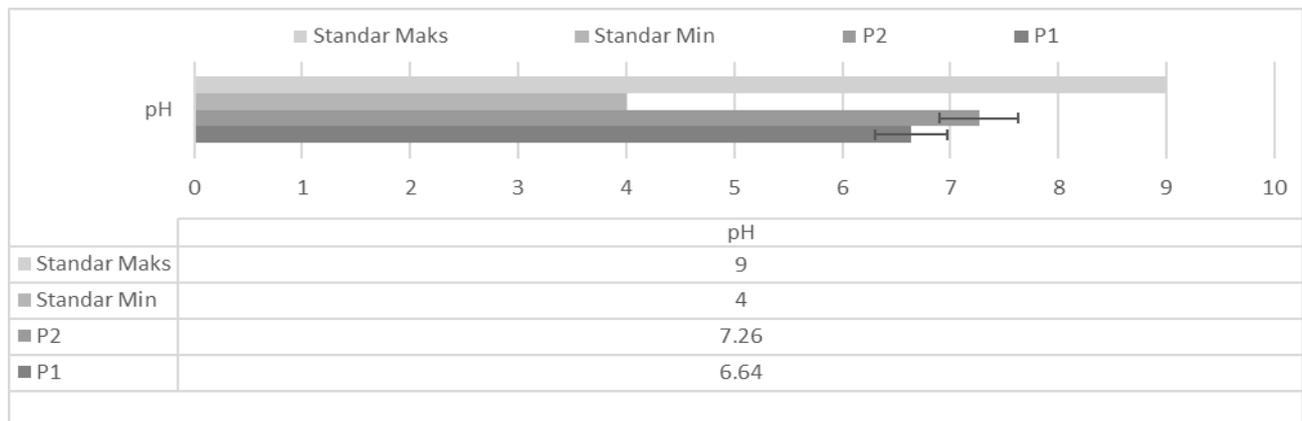
**fermentasi anaerob selama 1 minggu dengan kelembaban terjaga baik dan pembalikan sebanyak 1 kali



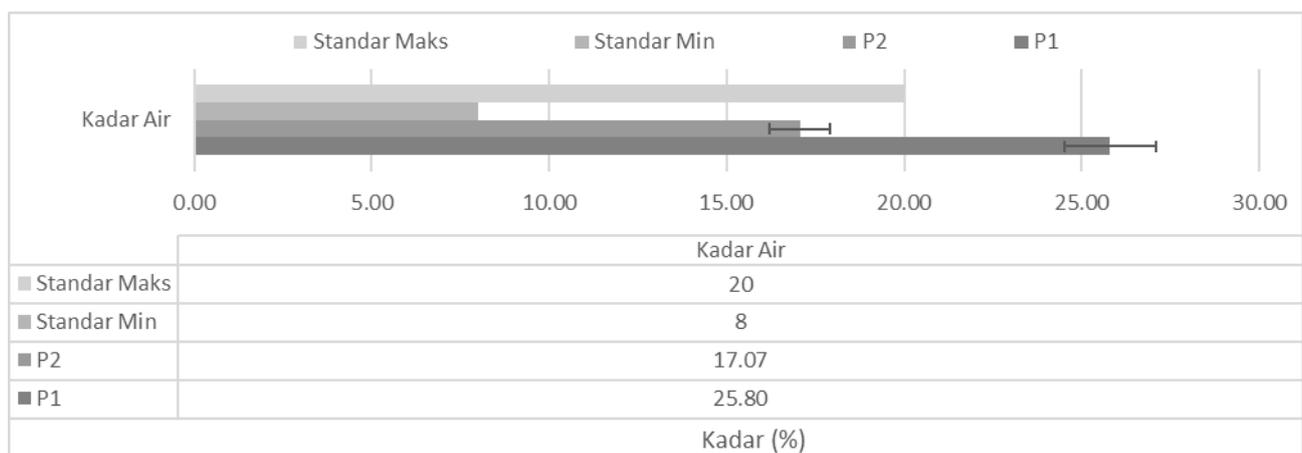
Gambar 2. Cara Membuat Pupuk Padat Limbah Biogas pada penelitian ini

HASIL DAN PEMBAHASAN

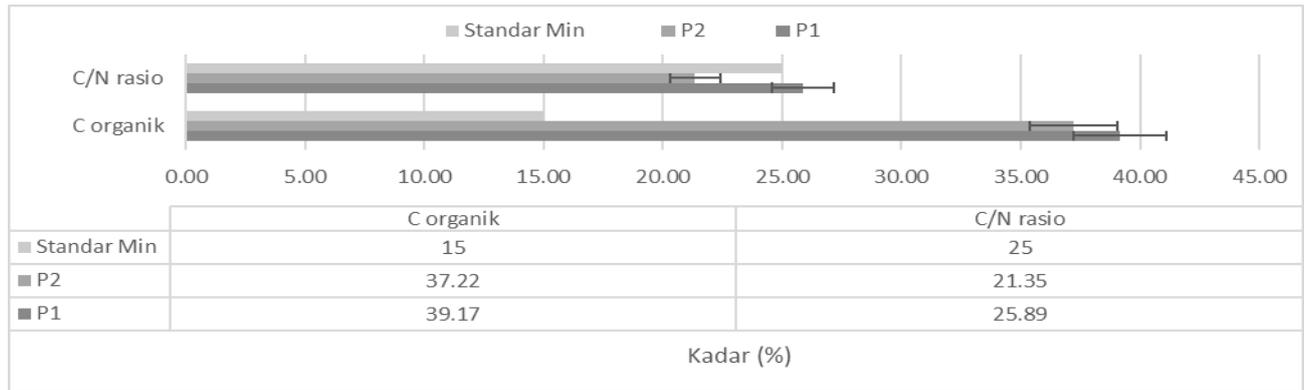
Hasil analisa pH, kadar air, C organik, Bahan Organik, N total P2O5 total, K2O total, NPK total, Fe total, dan Zn total yang diperoleh ditampilkan pada Gambar 3 – Gambar 8. Hasil tersebut dibandingkan juga dengan Standar Mutu Pupuk Padat berdasarkan standar Peraturan Menteri Pertanian no 261/KPTS/SR.310/M/4/2019.



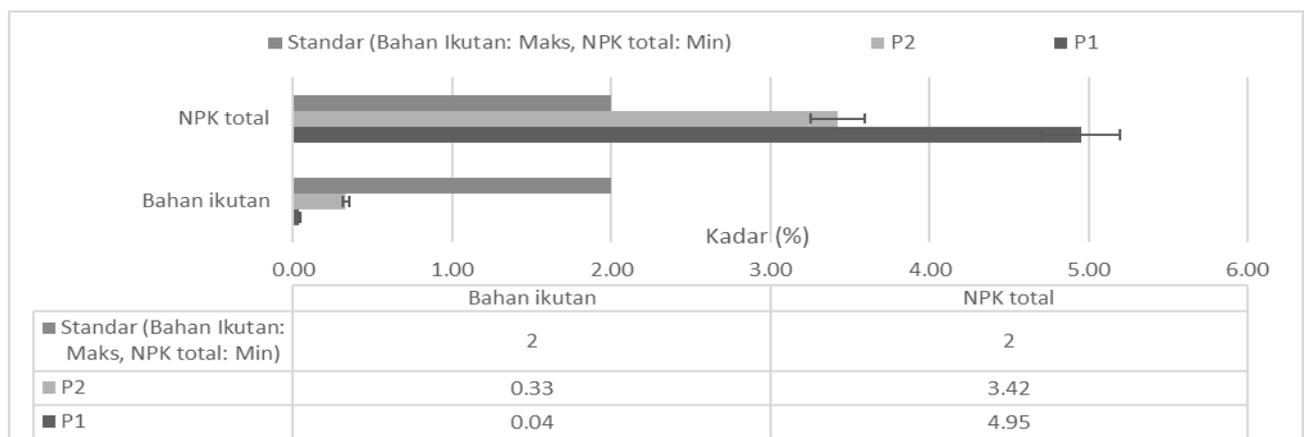
Gambar 3. Nilai pH pada 2 perlakuan sampel pupuk padat dengan 3 ulangan pengujian



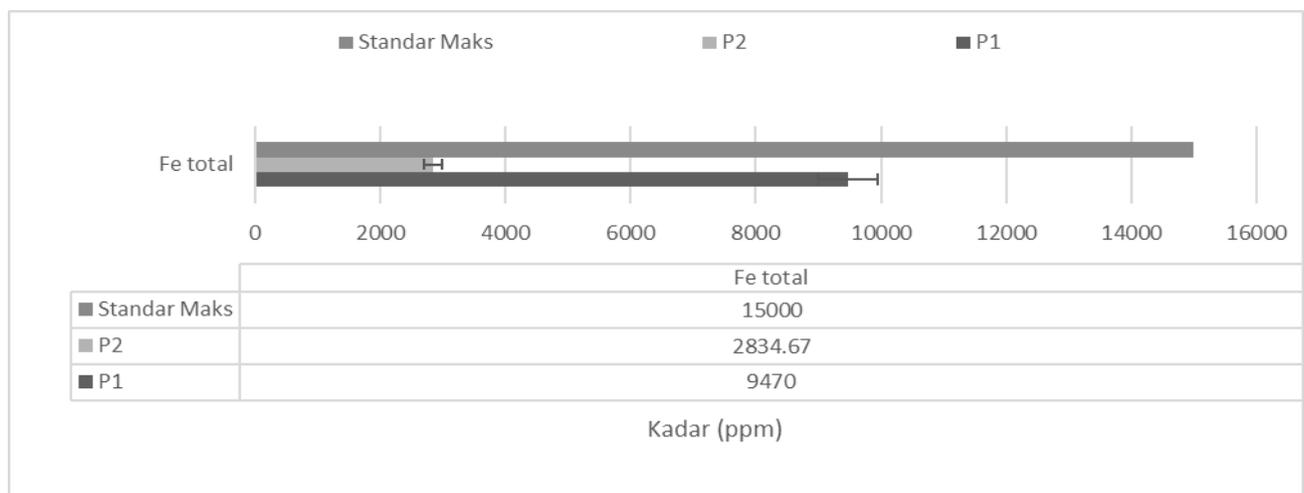
Gambar 4. Nilai kadar air pada 2 perlakuan sampel pupuk padat dengan 3 ulangan pengujian



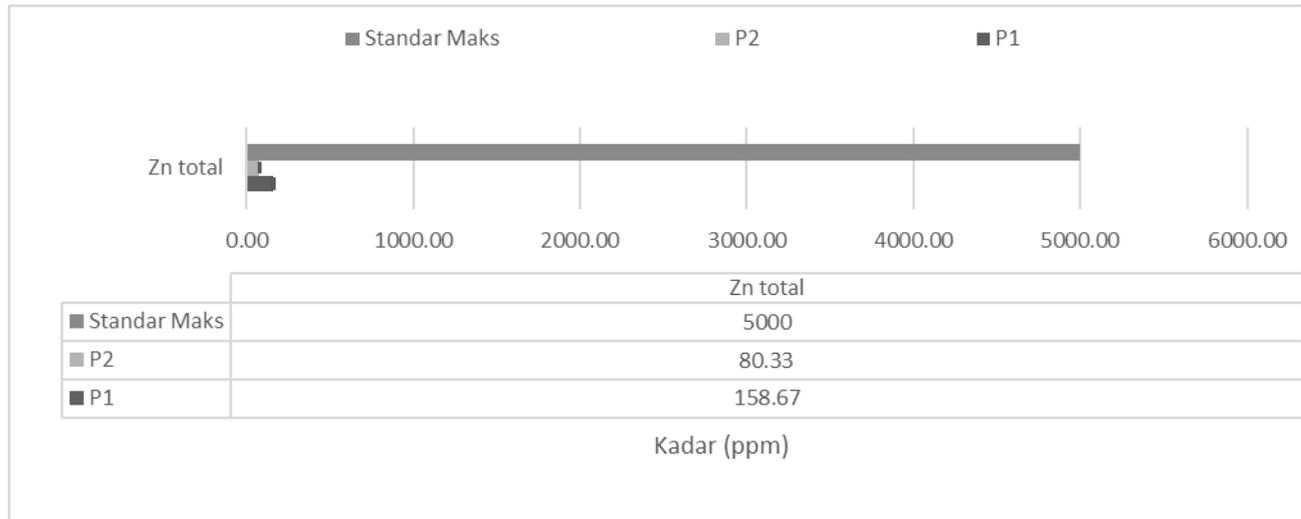
Gambar 5. Nilai kadar C-organik dan C/N rasio pada 2 perlakuan sampel pupuk padat dengan 3 ulangan pengujian



Gambar 6. Nilai kadar Bahan Ikutan dan NPK total pada 2 perlakuan sampel pupuk padat dengan 3 ulangan pengujian



Gambar 7. Nilai kadar Fe total pada 2 perlakuan sampel pupuk padat dengan 3 ulangan pengujian 2-



Gambar 8. Nilai kadar Zn total pada 2 perlakuan sampel pupuk padat dengan 3 ulangan pengujian

Tabel 2 menunjukkan hasil uji normalitas dan homogenitas data pada kedua perlakuan terhadap kualitas pupuk padat limbah biogas yang dihasilkan. Nilai-nilai tersebut digunakan untuk menentukan pengujian statistik yang sesuai apakah uji parametrik atau non parametrik. Jika data terdistribusi secara normal (nilai Sig. >0,05) dan homogen (nilai Sig. >0,05) maka digunakan Statistik Parametrik Uji Independent t-test. Jika data tidak terdistribusi secara normal (nilai Sig. <0,05) dan/atau tidak homogen (nilai Sig. >0,05) maka digunakan Statistik Non-Parametrik Uji Mann Whitney.

Tabel 2. menunjukkan hasil uji normalitas dan homogenitas data pada masing-masing parameter pengujian.

| Parameter Uji | Nilai Sig. Uji Normalitas P1 P2 | Nilai Sig. Uji Homogenitas | Statistik Parametrik (p) / Non-parametrik (np) | Nilai Sig. (2-tailed) Uji Independent t-test/ Nilai Asymp.Sig. Uji Mann Whitney |
|--|---------------------------------|----------------------------|--|---|
| pH | 0.363 | 0.357 | p | 0.001 ^{***)} |
| Kadar Air (%)* | 0.424 | 0.343 | p | 0.000 ^{***)} |
| | 1.000 | | | |
| C-organik (%)* | 0.726 | 0.464 | p | 0.582 |
| | 0.078 | | | |
| C/N rasio* | 0.227 | 0.311 | np | 0.275 |
| | 0.189 | | | |
| Bahan ikutan (%)* | 0.029 ^{*)} | 0.519 | p | 0.000 ^{***)} |
| | 0.637 | | | |
| NPK total (%)* | 0.463 | 0.781 | p | 0.000 ^{***)} |
| | 0.298 | | | |
| N total (%)* | 0.817 | 0.279 | np | 0.046 ^{***)} |
| | 0.000 ^{*)} | | | |
| P ₂ O ₅ total (%)* | 0.463 | 1.000 | p | 0.000 ^{***)} |
| | 0.567 | | | |
| K ₂ O total (%)* | 0.194 | 0.308 | np | 0.046 ^{***)} |
| | 0.780 | | | |
| Fe total (ppm)* | 0.000 ^{*)} | 0.036 ^{**)} | np | 0.050 ^{***)} |
| | 0.289 | | | |
| Zn total (ppm)* | 0.985 | 0.653 | np | 0.046 ^{***)} |
| | 0.637 | | | |
| | 0.000 ^{*)} | | | |

Keterangan: ^{*)}Data tidak berdistribusi normal, nilai Sig. <0,05

^{**)}Data tidak homogen, nilai Sig. <0,05

***) Ada beda pada kedua perlakuan, nilai Sig. (2-tailed) uji statistik parametrik Independent t-test <0,05 atau nilai Asymp.Sig. uji statistik non-parametrik Mann Whitney <0,05

* Hasil pengujian di BPTP Yogyakarta

Pada Tabel 2, tampak bahwa parameter uji pH, kadar air, C organik, Bahan Ikutan, NPK total, P₂O₅ total, dan Fe total memiliki data dengan distribusi yang normal, sedangkan parameter C/N rasio, N total, K₂O total, dan Zn total memiliki data dengan distribusi yang tidak normal. Untuk homogenitas data, hampir semua parameter memiliki data yang homogen, kecuali parameter Fe total. Melalui identifikasi nilai Sig. tersebut diperoleh bahwa statistik parametrik Independent t-test lebih sesuai untuk pengujian perbedaan pada parameter pH, kadar air, C organik, Bahan Ikutan, NPK total, dan P₂O₅ total.

Tabel 3 menunjukkan hasil rerata, standar deviasi, dan hasil uji perbedaan parameter kualitas pupuk padat limbah biogas yang dihasilkan dari kedua perlakuan P1 dan P2. Hasil uji dibandingkan dengan standar mutu pupuk padat oleh Peraturan Menteri Pertanian no 261/KPTS/SR.310/M/4/2019. Secara umum, formula P2 memiliki karakteristik yang lebih baik dibandingkan dengan P1 karena pada semua parameter uji formula P2 sesuai dengan standar mutu padat yang berlaku.

Tabel 3. Nilai Parameter Uji Kualitas Pupuk Padat Limbah Biogas yang dihasilkan

| Parameter Uji | Metode | Pupuk Limbah Biogas P1 | Pupuk Limbah Biogas P2 | Standar Mutu Padat** |
|--|---|---------------------------|-----------------------------|----------------------|
| pH | Potensiometri pH meter | 6.64±0.11 ^{*)} | 7.26±0.07 ^{*)} | 4-9 |
| Kadar Air (%) [*] | Gravimetri Oven 105°C, berat basah | 25.8±0.20 ^{*)} | 17.07±0.08 ^{*)} | 8-20 |
| C-organik (%) [*] | Pengabuan 600°C, 4j jam | 39.17±4.52 | 37.22±3.37 | Min 15 |
| C/N rasio [*] | Kalkulasi | 25.89±3.10 | 21.35±1.99 | ≤25 |
| Bahan ikutan (%) [*] | Sortasi | 0.037±0.015 ^{*)} | 0.33±0.02 ^{*)} | Maks 2 |
| NPK total (%) [*] | Kalkulasi | 4.95±0.064 ^{*)} | 3.42±0.060 ^{*)} | Min 2 |
| N total (%) [*] | Kjehdahl, Titrasi IK 5.4.1 | 1.51±0.01 ^{*)} | 1.74±0.02 ^{*)} | |
| P ₂ O ₅ total (%) [*] | Oksidasi Basah, HNO ₃ +HClO ₄ , Spektrometri IK.5.4.m | 2.1±0.05 ^{*)} | 1.11±0.05 ^{*)} | |
| K ₂ O total (%) [*] | Oksidasi Basah, HNO ₃ +HClO ₄ , AAS IK.5.4.n | 1.34±0.03 ^{*)} | 0.57±0.01 ^{*)} | |
| Fe total (ppm) [*] | Oksidasi Basah, HNO ₃ +HClO ₄ , AAS IK.5.4.m | 9470±530.87 ^{*)} | 2834.67±76.00 ^{*)} | Maks 15000 |
| Zn total (ppm) [*] | Oksidasi Basah, HNO ₃ +HClO ₄ , AAS IK.5.4.m | 158.67±1.53 ^{*)} | 80.33±1.15 ^{*)} | Maks 5000 |

Keterangan: *)Ada perbedaan antara Pupuk Biogas P1 dan P2 dengan menggunakan uji independent t-test dan Mann Whitney pada 3 ulangan

* Hasil pengujian di BPTP Yogyakarta

**Berdasarkan standar Peraturan Menteri Pertanian no 261/KPTS/SR.310/M/4/2019

Pada Gambar 3 tampak bahwa nilai pH pada ketiga ulangan pengujian berkisar antara 6,64±0,11 hingga 7,26±0,07 untuk kedua perlakuan. Jika dibandingkan dengan peraturan Menteri Pertanian no 70 tahun 2019 (Kementerian Pertanian Republik Indonesia, 2019) terlihat bahwa nilai pH masuk dalam range yakni 4-9, sedangkan pada penelitian ini kisaran nilai pH adalah sebesar 6-7. Penelitian terkait mengenai identifikasi pupuk hasil samping biogas juga dilakukan oleh (Akila et al., 2019) yakni diperoleh nilai pH sebesar 6,8±7,3 pada kotoran sapi sebagai kontrol. Menurut hasil yang diperoleh oleh (Alfa et al., 2014) nilai pH pada limbah kotoran sapi berkisar 7,4±3,9 dengan nilai kadar air berkisar 40.1 ± 4.1%. Penelitian yang dilakukan oleh (Meng et al., 2019) juga menunjukkan bahwa pH kompos final yang diperoleh dari campuran formulasi Spent Mushroom Substrate : Biogas Residue : Pig Manure (1:1:1) mendekati alkaline (7,2). Berdasarkan beberapa hasil literatur tersebut, tampak bahwa secara umum slurry padat biogas memiliki nilai pH berkisar antara 6-7.

Pada Gambar 4 tampak bahwa nilai kadar air pada ketiga ulangan pengujian berkisar antara 25,8±0,20% hingga 17,07±0,08% untuk kedua perlakuan. Untuk nilai kadar air pada P2 masih di atas range yakni di atas 8-20% berat basah, karena pada formulasi yang diuji memiliki kadar air 25,8%. Perbedaan nilai

tersebut menunjukkan bahwa perlu adanya kontrol kualitas untuk menjaga konsistensi bahan yang digunakan maupun konsistensi dalam pembuatannya. Pada penelitian ini sludge yang digunakan diperkirakan belum cukup matang sehingga memiliki kadar air yang masih cukup tinggi. Berdasarkan studi yang dilakukan oleh (Hong-yan et al., 2013) menyebutkan bahwa kompos slurry biogas kotoran sapi yang sudah matang (hari ke-45) memiliki nilai kadar air sebesar 26,12% dan pH 8,5, sedangkan kompos kotoran sapi yang sudah matang (hari ke-60) memiliki nilai kadar air sebesar 29,35% dan pH 8. Untuk pengembangan selanjutnya perlu diperhatikan tingkat kematangan slurry dan waktu fermentasi yang digunakan karena dimungkinkan akan berpengaruh pada hasil akhir nilai pH dan kadar airnya. Kadar air menjadi parameter sifat fisik yang penting karena berdasarkan beberapa penelitian diperkirakan berhubungan dengan umur simpan dan kualitas pupuk. Perlu penentuan kadar air yang sesuai tidak terlalu tinggi maupun rendah. Kadar air mungkin berpengaruh pada kemungkinan timbulnya mekanisme penggumpalan saat penyimpanan (Heslop, Skinner and Docherty, 1969; Hignett, 1985). *Rhizobium carrier based* dan *Biofertilizers* disarankan digunakan dalam jangka waktu 4 bulan penyimpanan terkait dengan jumlah mikrobia yang masih lebih banyak sehingga kualitas masih cukup baik. Pada *carrier based Biofertilizers*, kadar airnya tinggi, dan ada penurunan jumlah mikrobia yang lebih banyak (Bhavya et al., 2017). Pada penyimpanan *carrier based bio-innoculant* pada suhu 4°C dan 28°C selama 8 bulan diperoleh bahwa populasi *rhizobium* menurun. Tingkat kelangsungan hidup lebih tinggi pada penyimpanan suhu 4°C dibandingkan dengan 28±2°C karena kadar air yang rendah pada *carrier innoculant* yang disimpan pada temperature 28±2°C (Thirumal et al., 2017).

Parameter kualitas pupuk hasil limbah biogas erat kaitannya dengan kualitas limbah biogas yang digunakan. Selain kontrol dalam hal kesamaan kualitas bahan penyusun, waktu fermentasi masing-masing bahan penyusun juga menjadi aspek penting yang harus terkontrol karena berkaitan dengan kematangan kompos ketika bahan-bahan tersebut diformulasikan. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Hong-yan et al., 2013) temperatur naik secara cepat pada tahap awal dan menurun lebih cepat pada tahap akhir dibandingkan dengan kompos kotoran sapi. Temperatur pada hari ke-6 mencapai di atas 50°C dan kondisi tersebut bertahan selama 36 hari. Pada hari ke 21 temperatur berada di bawah 60°C dan berakhir di hari ke 40-45. Untuk kompos slurry biogas rasio C/N < 15 pada hari ke 45. Pada penelitian ini waktu fermentasi yang digunakan masih relatif singkat dibandingkan dengan yang dilakukan oleh (Hong-yan et al., 2013), sehingga dimungkinkan kondisi sludge yang digunakan pada penelitian ini belum matang. Kematangan slurry/sludge biogas dimungkinkan juga erat kaitannya dengan *biomass balance* pada proses biogas. *Digester* beroperasi dengan *Hydraulic Retention Time (HRT)* yang bervariasi tergantung dari bentuk *digester*, dimensi, maupun substrat yang digunakan. Sebagai contohnya adalah studi biogas yang dilakukan oleh (Haryanto, Triyono and Wicaksono, 2018) yang menyatakan bahwa produksi biogas stabil setelah 44 hari, sedangkan studi yang dilakukan oleh (Imam et al., 2013) menyatakan bahwa *Hydraulic Retention Time (HRT)* untuk biogas kotoran sapi adalah 40 hari.

Pada beberapa penelitian, pupuk dengan bahan dasar limbah biogas berpotensi untuk mengurangi penggunaan urea karena harganya yang mungkin lebih terjangkau. Potensinya mengurangi penggunaan urea menurut penelitian sebelumnya dapat dikombinasikan pupuk limbah biogas dengan sedikit urea sebesar 25 ton/ha menunjukkan hasil yang lebih baik daripada kontrol, bahkan jika dibandingkan dengan rasio penggunaan urea yang lebih banyak yakni 50 dan 75 ton/ha (Yafizham and Sutarno, 2018). Berdasarkan aspek strategis tersebut perlu disampaikan kepada masyarakat bahwa penggunaan pupuk berbahan dasar limbah biogas dapat menjadi alternatif integrasi biogas menjadi energi sekaligus dapat dimanfaatkan sebagai nutrisi bagi tanaman. Pupuk padat limbah biogas hasil formulasi dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Pupuk padat limbah biogas hasil formulasi

KESIMPULAN DAN SARAN

Formulasi pupuk dari hasil samping biogas bisa diterapkan sebagai alternatif mengurangi penggunaan pupuk konvensional. Uji coba pembuatan formula menghasilkan tekstur pupuk yang remah homogen. Hasil pengujian formula pupuk menunjukkan nilai pH masuk dalam range (4-9), yakni antara 6-7. Untuk nilai kadar air masih di atas range (15-25%) berat basah, yakni sebesar 52-67%. Secara garis besar, perlakuan P2 (Fermentasi 1 minggu dengan pembalikan 1 kali) menghasilkan formula pupuk organik yang lebih baik daripada P1 (Fermentasi 2 minggu dengan pembalikan 2 kali) berdasarkan standar mutu padat Permentan. Namun hasil ini belum mempertimbangkan studi kesetimbangan biomassa pada reaktor biogas untuk mendapatkan sludge yang stabil atau matang dan waktu pengomposan yang sesuai pada karakter sludge tersebut untuk mendapatkan kompos yang stabil atau matang.

Guna perkembangan lebih lanjut perlu dilakukan upaya untuk memperhitungkan faktor kesetimbangan biomassa dan waktu pengomposan yang sesuai antara lain melalui perhitungan HRT/SRT untuk identifikasi kematangan sludge sesuai dengan karakteristik biogas yang digunakan. Selain itu perlu dilakukan pengujian lebih lanjut dalam hal kematangan kompos, misalnya Cation Exchange Capacity dan pengujian terkait sehingga diharapkan formulasi dapat lebih sesuai. Usaha menurunkan kadar air pada formulasi yang dikembangkan dengan pematangan slurry biogas dan pengeringan lanjutan mungkin juga diperlukan. Untuk pengembangan lebih lanjut dalam hal peningkatan kapasitas kerja alat untuk menaikkan kapasitas produksi pupuk organik padat yang dihasilkan, perlu dilakukan optimasi jumlah ternak, jenis ternak, dan penyesuaian volume dan desain reaktor biogas sesuai dengan kebutuhan produksi yang diinginkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kegiatan Prioritas Nasional LIPI 2019, BAPPEDA Kabupaten Gunungkidul, dan PT BPR Bank Daerah Gunungkidul untuk dukungan yang telah diberikan dalam pelaksanaan kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akila, V. *et al.* (2019) 'Biogas and biofertilizer production of marine macroalgae: An effective anaerobic digestion of *Ulva sp.*', *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 18(February), p. 101035. doi: 10.1016/j.bcab.2019.101035.
- Alfa, I. M. *et al.* (2014) 'Comparative evaluation of biogas production from Poultry droppings, Cow dung and Lemon grass', *BIORESOURCE TECHNOLOGY*, 157, pp. 270-277. doi: 10.1016/j.biortech.2014.01.108.

- Avivi, Anastasia, I. and Izatti, M. (2014) 'Pengaruh Pemberian Kombinasi Pupuk Organik Padat dan Organik Cair Terhadap Porositas Tanah dan Pertumbuhan Tanaman Bayam (*Amarantus tricolor L.*)', *Jurnal Akademika Biologi*, 3(2), pp. 1–10.
- Barzallo-Bravo, L. A. *et al.* (2019) 'Bio-digestion and post-treatment of effluents by bio-fermentation, an opportunity for energy uses and generation of organic fertilizers from bovine manure', *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(4), pp. 431–438. doi: 10.1007/s40093-019-0275-5.
- Bhavya, K. *et al.* (2017) 'Study of Shelflife of Carrier Biofertilizers from Different Production Centers', 6(6), pp. 1776–1783.
- Fitrah, A. and Amir, N. (2015) 'PENGARUH JENIS PUPUK ORGANIK PADAT DAN CAIR TERHADAP PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI TANAMAN SELEDRI (*Apium graveolensL.*) DIPOLYBAG', *Jurnal Klorofil*, X(1), pp. 43–48.
- Green, B. W. (2015) *Fertilizers in aquaculture, Feed and Feeding Practices in Aquaculture*. Elsevier Ltd. doi: 10.1016/B978-0-08-100506-4.00002-7.
- Haryanto, A., Triyono, S. and Wicaksono, N. H. (2018) 'Effect of hydraulic retention time on biogas production from cow dung in a semi continuous anaerobic digester', *International Journal of Renewable Energy Development*, 7(2), pp. 93–100. doi: 10.14710/ijred.7.2.93-100.
- Heslop, A. M., Skinner, J. M. and Docherty, A. C. (1969) 'Determination of Moisture in Fertilisers and Materials Insoluble in Methanol', *Analyst*, 94(August), pp. 681–687.
- Hignett, T. P. (1985) 'XXII Physical and Chemical Properties of Fertilizers and Methods for their Determination', in *Fertilizer Manual*. Springer Science+Business Media Dordrecht, pp. 284–316.
- Hong-yan, Z. *et al.* (2013) 'Microbial Community Dynamics During Biogas Slurry and Cow Manure Compost', *Journal of Integrative Agriculture*, 12(6), pp. 1087–1097. doi: 10.1016/S2095-3119(13)60488-8.
- Imam, M. F. I. Al *et al.* (2013) 'Development of Biogas Processing from Cow dung, Poultry waste, and Water Hyacinth', *International Journal of Natural and Applied Science*, 2(1), pp. 13–17.
- Issah, A. A., Kabera, T. and Kemausuor, F. (2020) 'Biogas optimisation processes and effluent quality: A review', *Biomass and Bioenergy*, 133(June 2019), p. 105449. doi: 10.1016/j.biombioe.2019.105449.
- Julendra, H. *et al.* (2013) 'Evaluasi Penerapan Sistem Pertanian Terpadu Berbasis Sapi Potong di Delapan Lokasi dengan Letak Geografis yang Berbeda', in *Seminar Nasional & Workshop: Peningkatan Inovasi dalam Menanggulangi Kemiskinan*, pp. 104–111.
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia (2019) *Pendaftaran Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenh Tanah*.
- Kumar, S. *et al.* (2015) 'Biogas Slurry : Source of Nutrients for Eco-friendly Agriculture', *International Journal of Extensive Research*, 2(February), pp. 42–46.
- Li, C. sheng and Cai, R. rong (2022) 'Preparation of solid organic fertilizer by co-hydrothermal carbonization of peanut residue and corn cob: A study on nutrient conversion', *Science of the Total Environment*, 838(April), p. 155867. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.155867.
- Liu, Z. *et al.* (2019) 'Impacts of straw , biogas slurry , manure and mineral fertilizer applications on several biochemical properties and crop yield in a wheat-maize cropping system', *Plant, Soil and Environment*, 65(1), pp. 1–8.

- Meng, X. *et al.* (2019) 'Bioresource Technology Co-composting of the biogas residues and spent mushroom substrate: Physicochemical properties and maturity assessment', *Bioresource Technology*, 276(November 2018), pp. 281–287. doi: 10.1016/j.biortech.2018.12.097.
- Muanah, M. (2019) 'Pembuatan Pupuk Organik Padat Dari Ampas Biogas (Bio-Slurry) Kotoran Sapi Di Desa Peresak Kabupaten Lombok Barat', *SELAPARANG Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*, 3(1), p. 139. doi: 10.31764/jpmb.v3i1.1295.
- Natsir, N. A. (2016) 'Penerapan Teknologi Pembuatan Pupuk Organik Dalam Pengolahan Limbah Pasar Mardika Ambon', *Biosel: Biology Science and Education*, 5(1), p. 11. doi: 10.33477/bs.v5i1.480.
- Nurjannah, N. *et al.* (2019) 'Pembuatan Pupuk Organik Padat dengan Cara Aerob', *Journal of Chemical Process Engineering*, 4(2), pp. 90–96. doi: 10.33536/jcpe.v4i2.467.
- Nurjannah, N., Arfah, N. and Fitriani, N. (2018) 'Pembuatan Pupuk Organik Cair Dari Limbah Biogas', *Journal Of Chemical Process Engineering*, 3(1), p. 38. doi: 10.33536/jcpe.v3i1.193.
- Prasetyo, D. J., Rizal, W. A. and Jatmiko, T. H. (2016) 'Diversifikasi energi melalui pemanfaatan biogas di usaha kecil menengah (ukm) tahu di dusun sumbermulyo, desa kepek, kecamatan wonosari, kabupaten gunungkidul', *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pemerintah Daerah DIY*, 8(1), pp. 23–35.
- Shakeri Yekta, S. *et al.* (2021) 'Effluent solids recirculation to municipal sludge digesters enhances long-chain fatty acids degradation capacity', *Biotechnology for Biofuels*, 14(1), pp. 1–16. doi: 10.1186/s13068-021-01913-1.
- Suniantara, I. K. P., Putra, I. G. E. W. and Ayuni, N. P. S. (2019) 'Pengolahan Pupuk Organik Padat dari Limbah Biogas Pada Kelompok Ternak Sedana Murti', in *Seminar Nasional Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat 2019*, pp. 133–138.
- Thirumal, G. *et al.* (2017) 'Evaluate the Shelf Life of Rhizobium Carrier Based Biofertilizer Stored at Different Temperatures at Different Intervals', 6(7), pp. 753–759.
- Wagaw, K. (2016) 'Characterization and Utilization of Bioslurry from Anaerobic Digester for Fertilizer in Crop Production', *Journal of Fertilizers & Pesticides*, 7(2), pp. 1–5. doi: 10.4172/2471-2728.1000169.
- Wahono, S. K. *et al.* (2010) 'Modifikasi zeolit lokal Gunungkidul sebagai upaya peningkatan performa biogas untuk pembangkit listrik', in *Seminar Rekayasa Kimia dan Proses*, p. D11(1-6).
- Wahono, S. K., Febrisiantosa, A. and Maryana, R. (2008) 'Pemanfaatan Teknologi Biogas Terintegrasi dengan Pengelolaan UMKM Industri Tahu dan Peternakan Sapi di Gunungkidul – Yogyakarta', in *Seminar Nasional 2008 'Sistem Informasi sebagai Penggerak Pembangunan di Daerah'*, p. EL62 1-6.
- Wahono, S. K. and Rizal, W. A. (2014) 'Biogas Filter Based on Local Natural Zeolite Materials Biogas Filter Based on Local Natural Zeolite Materials', *International Journal of Renewable Energy Development*, 3(February), pp. 1–5. doi: 10.14710/ijred.3.1.1-5.
- Yafizham and Sutarno (2018) 'Fermentation of Anaerobic Cow Waste as Bio- Slurry Organic Fertilizer and Nitrogen Chemical Fertilizer on Soybean', in *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 119*, pp. 1–7.