

POTENSI PRODUKSI BIOGAS DAN MITIGASI EMISI GAS RUMAH KACA DI INDUSTRI TAHU

Jatmiko Wahyudi

Badan Perencanaan Pembangunan Daerah, Kabupaten Pati

Jl. Pati-Kudus Km. 4, Pati 59163.

Email: jatmiko_tkuns@yahoo.com

Abstrak

Limbah cair industri tahu memiliki kandungan COD dan BOD yang tinggi sehingga dapat menyebabkan pencemaran apabila dibuang langsung ke lingkungan. Pemanfaatan teknologi biogas merupakan salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan limbah cair industri tahu sekaligus berpotensi untuk menghasilkan energi terbarukan dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung potensi produksi biogas sekaligus potensi pengurangan emisi gas rumah kaca sebagai akibat dari penggunaan teknologi biogas untuk mengolah limbah cair tahu. Penelitian dilakukan pada sebuah industri kecil tahu berkapasitas rata-rata 300 kg kedelai/hari yang berlokasi di Desa Dadirejo, Kecamatan Margorejo, Kabupaten Pati. Hasil penelitian menunjukkan bahwa instalasi biogas di lokasi penelitian berpotensi menghasilkan produksi biogas sebesar 2,7 m³/hari dengan nilai energi yang bisa dimanfaatkan untuk memasak sebesar 7.792 kcal/hari. Penggunaan biogas dapat menggantikan penggunaan kayu bakar sebesar 4,6 ton/tahun atau menggantikan penggunaan LPG sebesar 421 kg/tahun. Potensi pengurangan emisi GRK dari proses substitusi kayu ke biogas sebesar 6136,6 kgCO₂-eq/tahun sedangkan dari proses substitusi LPG ke biogas berpotensi mereduksi emisi GRK sebesar 418,1 kgCO₂-eq/tahun.

Kata kunci: biogas, emisi gas rumah kaca, limbah cair industri tahu

1. PENDAHULUAN

Industri tahu merupakan industri pangan yang populer di masyarakat, bahan bakunya relatif mudah dijumpai, pengolahannya mudah, bergizi, dan harganya terjangkau. Di satu sisi, keberadaan industri tahu memberikan dampak positif dalam upaya penyerapan tenaga kerja, peningkatan pendapatan masyarakat dan mendukung ketahanan pangan. Di sisi lain, keberadaan industri tahu memberikan dampak negatif berupa pencemaran lingkungan akibat pembuangan limbah cair industri tahu.

Studi yang dilakukan oleh Kaswinarni (2007) menunjukkan bahwa limbah cair tahu memiliki kandungan COD 4.500-6.500 mg/liter dan BOD 2.500-3.500 mg/liter. Berdasarkan Peraturan Daerah Propinsi Jawa Tengah No. 10 Tahun 2004 dinyatakan kadar COD air limbah tahu maksimal sebesar 275 mg/liter dan BOD sebesar 150 mg/liter. Artinya, limbah cair yang dihasilkan industri tahu jauh di atas baku mutu air limbah tahu yang ditetapkan oleh Pemerintah. Oleh karena itu, air limbah tahu yang dibuang langsung ke lingkungan akan menyebabkan pencemaran lingkungan dan berbahaya bagi makhluk hidup.

Pemanfaatan teknologi biogas merupakan salah satu cara mengelola limbah organik sekaligus sebagai strategi penyediaan energi secara berkelanjutan dan mitigasi emisi gas rumah kaca (GRK). Material-material organik yang terkandung dalam limbah cair industri tahu memiliki potensi yang besar untuk diubah menjadi energi. Kandungan *volatile solid* (VS) pada limbah cair tahu lebih besar dibandingkan dengan kandungan VS limbah ternak seperti sapi, babi dan unggas (Al Seadi dkk., 2008). *Volatile solids* adalah padatan yang dapat dikonversi menjadi biogas sehingga semakin tinggi VS semakin banyak biogas yang akan dihasilkan.

Biogas adalah campuran gas yang dihasilkan dari dekomposisi bahan-bahan organik melalui proses biokimia pada kondisi tanpa udara (*anaerobic*) (El-Mashad & Zhang, 2010). Biogas merupakan campuran gas yang komposisinya terdiri dari gas metana (CH₄) 50-75%, gas karbondioksida (CO₂) 25-45% dan gas-gas lainnya dalam jumlah yang sedikit (Al Seadi dkk., 2008). CH₄ merupakan gas yang dapat terbakar dengan kandungan energi sebesar 8.900 kcal/m³ (Widodo & Hendriadi, 2005). Adanya kandungan CH₄ pada biogas menyebabkan biogas dapat digunakan sebagai energi walaupun energi biogas hanya sebesar 4.810 kcal/m³ tidak sebesar energi CH₄ murni (Lam dan Heegde, 2011). Hal ini disebabkan adanya kandungan CO₂ yang cukup besar

pada biogas yang merupakan material yang tidak dapat terbakar. Biogas dapat dikategorikan sebagai bahan bakar rendah emisi sehingga penggunaan biogas untuk menggantikan bahan bakar lain merupakan bentuk mitigasi emisi GRK. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung potensi produksi biogas sekaligus potensi pengurangan emisi GRK sebagai akibat dari penggunaan teknologi biogas untuk mengolah limbah cair tahu.

2. METODOLOGI

Penelitian berlangsung antara bulan Januari-Maret 2017. Penelitian dilakukan di sebuah industri tahu yang berlokasi di Desa Dadirejo, Kecamatan Margorejo Kabupaten Pati. Data primer diperoleh melalui metode observasi dan wawancara. Data sekunder misalnya data koefisien-koefisien yang digunakan untuk menghitung emisi gas rumah kaca diperoleh dari berbagai pustaka.

Produksi biogas (V_{bio}) diasumsikan sebesar 30% dari volume digester (Lam dan Heegde, 2011). Nilai energi biogas (E_b) yang dimanfaatkan untuk memasak (*delivered energy*) maupun jumlah material bahan bakar tertentu misalnya kayu atau LPG yang disubstitusi oleh biogas (FS_m) dihitung dengan persamaan (1) dan (2) (Bhattacharya dkk., 1997).

$$E_b = V_{bio} \times \Delta H_{c, bio} \times \eta_{bio} \quad (1)$$

$$FS_{(m)} = \frac{E_b}{\Delta H_{c, m} \times \eta_m} \quad (2)$$

E_b adalah *delivered energy* biogas (kcal/hari). $\Delta H_{c, bio}$ adalah nilai kalor biogas. FS_m adalah jumlah material yang digantikan oleh biogas (kg/hari). $\Delta H_{c, m}$ adalah nilai kalor material tertentu. η_{bio} adalah efisiensi pembakaran biogas. η_m adalah efisiensi pembakaran material tertentu. Koefisien-koefisien yang dibutuhkan untuk menghitung GRK dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Koefisien-koefisien yang digunakan dalam penelitian

Variabel	Nilai	Satuan	Referensi
Nilai kalor LPG	11.254,6	kcal/kg	(Budya dan Arofat, 2011)
Nilai kalor kayu bakar	3.824	kcal/kg	(Pathak dkk., 2009)
Nilai kalor biogas	4.810	kcal/m ³	(Pathak dkk., 2009)
Density biogas	1,2	kg/m ³	(Al Seadi dkk., 2008).
Efisiensi pembakaran biogas	60	%	(Lam dan Heegde, 2011)
Efisiensi pembakaran kayu	16	%	(Lam dan Heegde, 2011)
Efisiensi pembakaran LPG	60	%	(Lam dan Heegde, 2011)
Faktor emisi CO ₂ dari kayu bakar	1.450	g/kg	(Zhang dkk., 2000)
Faktor emisi CO ₂ dari LPG	3.075	g/kg	(Zhang dkk., 2000)
Faktor emisi CO ₂ dari biogas	748	g/kg	(Bhattacharya dkk., 1997)
Faktor emisi CH ₄ dari kayu bakar	2,7	g/kg	(Zhang dkk., 2000)
Faktor emisi CH ₄ dari LPG	0,137	g/kg	(Zhang dkk., 2000)
Faktor emisi CH ₄ dari biogas	0,023	g/kg	(Bhattacharya dkk., 2002)
Faktor emisi N ₂ O dari kayu bakar	4,83	kg/TJ	(Bhattacharya dan Abdul Salam, 2002)
Faktor emisi N ₂ O dari LPG	1,88	kg/TJ	(Bhattacharya dan Abdul Salam, 2002)
GWP N ₂ O	310	kgCO ₂ -eq/kg	(Pathak dkk., 2009)
GWP CH ₄	21	kgCO ₂ -eq/kg	(Pathak dkk., 2009)
GWP CO ₂	1	kgCO ₂ -eq/kg	(Pathak dkk., 2009)

Emisi GRK dari proses substitusi energi dihitung dengan Persamaan (3). Besarnya emisi GRK dinyatakan dalam satuan kgCO₂-eq/tahun.

$$GRK_{subs} = GRK_{mat-bio} = GRK_{material} - GRK_{biogas} \quad (3)$$

Emisi GRK dari proses pembakaran material tertentu dihitung dengan menggunakan Persamaan (4) yang dikembangkan oleh Yu, dkk (2008).

$$GRK_m = FS_m \times 365 \times EF_m \times GWP \times 10^{-3} \quad (4)$$

GRK_m adalah nilai emisi GRK yang dihasilkan dari proses pembakaran material tertentu yang digantikan oleh biogas. 365 adalah jumlah hari dalam satu tahun. EF_m adalah faktor emisi GRK material yang digantikan oleh biogas. GWP adalah *global warming potential* yaitu potensi suatu gas dalam menyebabkan pemanasan global yang diukur secara relatif berdasarkan emisi CO_2 dengan nilai 1 (satu). 10^{-3} adalah konversi gram (g) menjadi kilogram (kg).

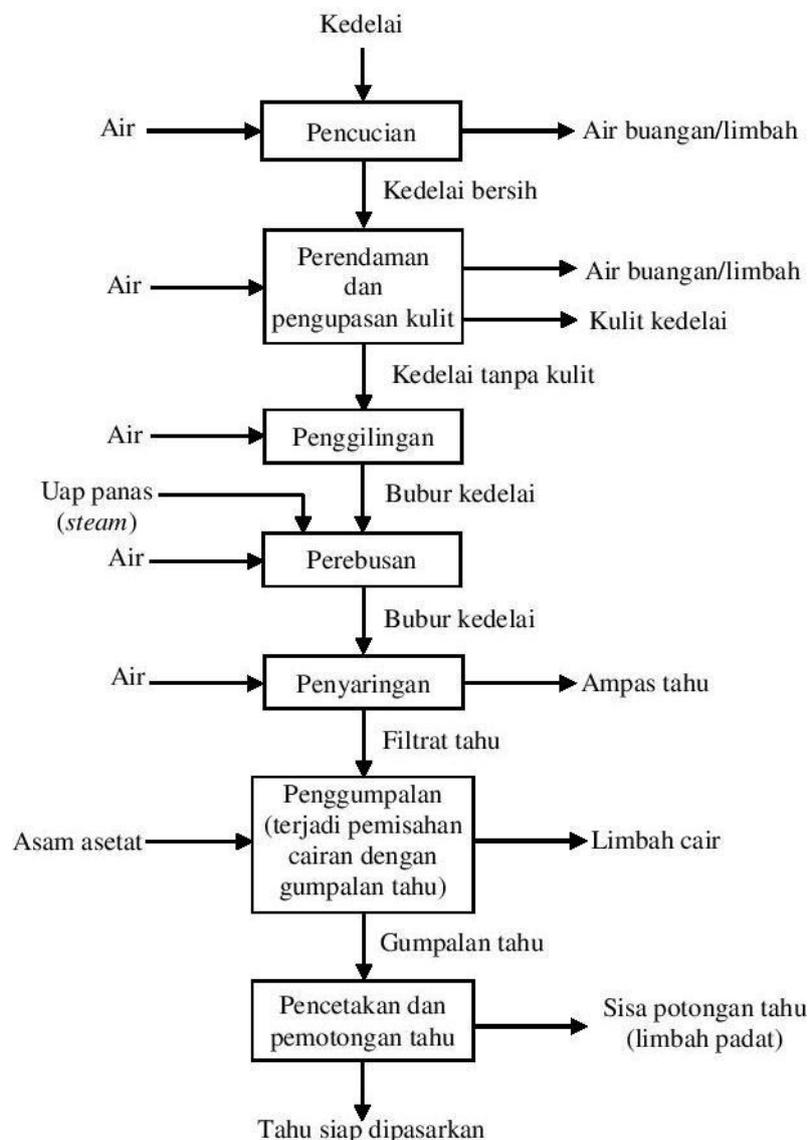
Emisi GRK dari proses pembakaran biogas (GRK_{bio}) dihitung dengan menggunakan persamaan (5). $Density_{bio}$ adalah massa jenis biogas. EF_{bio} adalah faktor emisi GRK biogas.

$$GRK_{bio} = V_{bio} \times 365 \times density_{bio} \times EF_{bio} \times GWP \times 10^{-3} \quad (5)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Profil industri tahu

Desa Dadirejo merupakan salah satu sentra industri tahu di Kabupaten Pati. Industri kecil tahu yang menjadi objek pada penelitian ini, setiap harinya mengolah 3-4 kuintal kedelai dengan 7 orang tenaga kerja. Proses pembuatan tahu dapat dilihat pada Gambar 1. Secara umum, proses pembuatan tahu yang dilakukan di lokasi penelitian relatif sama dengan proses pembuatan tahu di tempat lain di Indonesia (Kaswinarni, 2007).



Gambar 1. Proses pembuatan tahu

Permasalahan yang dihadapi perusahaan tahu yang berada di Desa Dadirejo adalah terkait dengan masalah penanganan limbah cair. Limbah cair tahu langsung dibuang ke sungai yang menyebabkan pencemaran, ditandai dengan munculnya bau yang menyengat dan meningkatnya jumlah nyamuk terutama pada musim kemarau. Pencemaran akibat pembuangan limbah cair tahu memicu protes dari masyarakat terhadap keberadaan industri tahu yang ditindaklanjuti dengan laporan masyarakat ke instansi pemerintah terkait.

Pada satu sisi, keberadaan industri tahu membawa banyak manfaat sehingga tidak begitu saja bisa ditutup. Namun di sisi lain, keberadaan industri tahu di Desa Dadirejo yang merupakan kawasan yang relatif padat penduduk membawa masalah lingkungan berupa pencemaran dan penyebaran penyakit yang memicu munculnya permasalahan sosial berupa protes dari masyarakat di sekitar pabrik tahu dan meningkatnya ketegangan antara masyarakat dengan pengusaha tahu. Untuk mengatasi hal tersebut, pada tahun 2012 Pemerintah Daerah melalui dinas terkait yaitu Badan Lingkungan Hidup (BLH) memberikan bantuan pembangunan instalasi biogas dengan desain kubah tetap ber dinding beton (*concrete-fixed dome*) berkapasitas 9 m^3 dengan bantuan anggaran dari Pemerintah Pusat melalui Dana Alokasi Khusus (DAK).

3.2. Produksi biogas

Instalasi biogas di lokasi penelitian berpotensi menghasilkan $2,7\text{ m}^3$ biogas/hari dengan kandungan energi hampir mencapai $13,000\text{ kcal/hari}$. Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan persamaan 1, energi pada biogas yang digunakan untuk memasak sebesar 7792 kcal/hari , kehilangan energi (*energy loss*) diasumsikan sebesar 40% yang terjadi saat proses pembakaran (*thermal efficiency*). Biogas yang dihasilkan oleh digester di lokasi penelitian berpotensi untuk menggantikan penggunaan kayu bakar sebanyak 13 kg/hari atau $4,6\text{ ton/tahun}$. Sedangkan apabila digunakan untuk menggantikan penggunaan LPG, biogas berpotensi untuk menggantikan penggunaan LPG sebanyak $1,2\text{ kg/hari}$ atau 421 kg/tahun .

Menurut Taufan dkk (2013), perebusan bubur kedelai dengan bahan baku 5 kg kedelai/batch membutuhkan $1,78\text{ kg}$ LPG. Oleh karena itu, biogas yang dihasilkan di lokasi penelitian tidak mencukupi untuk digunakan sebagai bahan bakar untuk memasak di industri tahu namun lebih tepat digunakan untuk keperluan memasak rumah tangga. Hal ini sesuai dengan temuan penelitian ini yang menunjukkan pengguna biogas memanfaatkan biogas hanya untuk kebutuhan memasak di rumah tangga. Menurut Bond dan Templeton (2011), kebutuhan energi memasak untuk 1 keluarga dengan jumlah anggota keluarga 5 orang dapat tercukupi dengan pasokan $1,5\text{ m}^3$ biogas /hari. Hal ini juga sesuai dengan temuan penelitian yang menunjukkan biogas di lokasi penelitian dimanfaatkan untuk kebutuhan memasak 2 keluarga. Namun demikian, kadangkala produksi biogas ternyata tidak mampu mencukupi untuk kebutuhan energi memasak sehari-hari. Hal ini diduga disebabkan oleh tidak optimalnya produksi biogas dan rendahnya kandungan CH_4 dalam biogas.

Tidak optimalnya produksi biogas diduga disebabkan pendeknya waktu tinggal limbah cair tahu di dalam digester yang biasanya dapat diidentifikasi dari masih munculnya bau gas CH_4 yang menyengat dari limbah cair yang keluar dari digester (*effluent*). Pada umumnya, digester di daerah tropis dirancang untuk memiliki waktu tinggal antara 30-40 hari. Waktu tinggal kurang dari 30 hari menyebabkan produksi biogas dan CH_4 rendah karena proses *methanogenesis* (proses pembentukan CH_4) belum berlangsung dengan optimal. Waktu tinggal lebih dari 40 hari menyebabkan proses tidak ekonomis karena digester harus didesain dengan volume lebih besar dan berakibat biaya pembangunan menjadi lebih mahal.

Permasalahan waktu tinggal limbah cair tahu sangat terkait dengan tingginya produksi limbah cair pada industri tahu. Air digunakan dan selanjutnya dibuang hampir pada setiap tahapan pembuatan tahu dengan jumlah yang relatif besar. Rata-rata industri tahu menghasilkan limbah cair sebanyak $17\text{ m}^3/\text{ton}$ kedelai (Suprihatin, 2009). Dengan asumsi tersebut, industri tahu yang menjadi objek pada penelitian ini berpotensi menghasilkan limbah cair sebesar $5,1\text{-}6,8\text{ m}^3/\text{hari}$. Apabila seluruh limbah cair yang dihasilkan dimasukkan ke dalam digester berukuran 9 m^3 maka dapat dipastikan waktu tinggal limbah hanya berkisar 1-2 hari saja.

Untuk mengatasi hal tersebut, limbah cair yang dialirkan ke digester seharusnya hanyalah limbah cair dengan kandungan padatan yang tinggi sedangkan limbah cair yang lain langsung dialirkan ke saluran menuju sungai. Menurut responden, limbah cair yang dimasukkan ke digester berasal dari dua sumber yaitu: 1) limbah cair yang berasal dari proses pemisahan cairan dengan

gumpalan tahu; dan 2) limbah cair yang berasal dari pembersihan lantai pabrik dari sisa-sisa potongan tahu. Walaupun telah dilakukan pemilahan limbah cair, diduga volume limbah cair dari dua sumber tersebut masih cukup tinggi sehingga waktu tinggal limbah masih terlalu pendek. Hal ini diperkuat dengan temuan masih munculnya bau gas CH_4 yang masih menyengat pada *effluent*.

3.3. Reduksi emisi GRK

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan 3-5 diperoleh hasil-hasil sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai emisi dan reduksi emisi GRK

Variabel	Nilai	Satuan
GRK pembakaran biogas (GRK_{bio})	885,2	kgCO ₂ -eq/tahun
GRK pembakaran kayu (GRK_{kayu})	7.021,8	kgCO ₂ -eq/tahun
$\text{GRK}_{\text{kayu-bio}}$	6.136,6	kgCO ₂ -eq/tahun
GRK pembakaran LPG (GRK_{LPG})	1.303,3	kgCO ₂ -eq/tahun
$\text{GRK}_{\text{LPG-bio}}$	418,1	kgCO ₂ -eq/tahun

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa pembakaran kayu menghasilkan emisi sebesar 7021,8 kgCO₂-eq/tahun yang berarti emisi paling tinggi dibandingkan dengan pembakaran LPG maupun biogas. Secara fisik, besarnya emisi GRK pada pembakaran kayu dapat dilihat pada terbentuknya asap dan jelaga pada saat pembakaran. Hal ini berbeda dengan pembakaran LPG maupun biogas yang relatif bersih dengan sedikit sekali menghasilkan asap maupun jelaga.

Penggunaan biogas untuk menggantikan kayu bakar sebagai bahan bakar rumah tangga mampu mereduksi emisi GRK yang cukup signifikan yaitu hampir 15 kali lipat dibandingkan reduksi emisi GRK ketika biogas digunakan untuk menggantikan LPG. Oleh karena itu, penggunaan biogas untuk menggantikan kayu bakar juga memberikan manfaat untuk mengurangi resiko terkena penyakit pernafasan, iritasi mata maupun kanker terutama bagi ibu-ibu yang bekerja di dapur. Penggunaan biogas juga akan mengurangi beban pekerjaan bagi ibu-ibu terutama dalam membersihkan peralatan memasak dari jelaga serta menjaga kebersihan dapur.

Walaupun penurunan emisi GRK dari proses substitusi LPG ke biogas tidak terlalu besar, penggunaan biogas memberikan manfaat lain yaitu pengguna biogas dapat melakukan penghematan karena tidak perlu membeli LPG. Sebelum menggunakan biogas, kebutuhan LPG responden mencapai 2-3 tabung LPG ukuran 3 kg setiap bulannya. Dengan asumsi harga LPG ukuran tabung 3 kg adalah Rp. 20.000 maka responden dapat menghemat Rp40.000 – 60.000 ribu per bulan.

4. KESIMPULAN

Selain bermanfaat untuk mengatasi dampak negatif limbah cair di industri tahu, pemanfaatan teknologi biogas berpotensi untuk menghasilkan energi yang bersih dan berkelanjutan. Penggunaan teknologi biogas di lokasi penelitian berpotensi untuk menghasilkan energi untuk memasak sebesar 7.792 kcal/hari dan berpotensi menggantikan penggunaan kayu bakar sebesar 4,6 ton/tahun atau 421 kg LPG/tahun. Potensi pengurangan emisi GRK yang terjadi dari proses peralihan penggunaan kayu bakar ke biogas sebesar 6.136,6 kgCO₂-eq/tahun. Sedangkan apabila biogas digunakan untuk menggantikan LPG maka potensi pengurangan emisi GRK mencapai 418,1 kgCO₂-eq/tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., Janssen, R., (2008), *Biogas Handbook*, University of Southern Denmark, Esbjerg.
- Bhattacharya, S.C., and Abdul Salam, P., (2002), Low Greenhouse Gas Biomass Options for Cooking in the Developing Countries, *Biomass Bioenergy*, 22, pp. 305–317.
- Bhattacharya, S.C., Thomas, J.M., and Abdul Salam, P., (1997), Greenhouse Gas Emissions and the Mitigation Potential of Using Animal Wastes in Asia, *Energy*, 22, pp. 1079–1085.
- Budya, H., and Arofat, M.Y., (2011), Providing Cleaner Energy Access in Indonesia Through the Megaproject of Kerosene Conversion to LPG, *Energy Policy*, 39, pp. 7575–7586.

- El-Mashad, H.M., and Zhang, R., (2010), Biogas Production From Co-Digestion of Dairy Manure and Food Waste, *Bioresource Technology*, 101, pp. 4021-4028.
- Kaswinarni, F., (2007), Kajian Teknis Pengolahan Limbah Padat dan Cair Industri Tahu Studi Kasus Industri Tahu Tandang Semarang, Sederhana Kendal dan Gagak Sipat Boyolali. Tesis. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Lam, J., and Heegde, F.t., (2011), *Domestic Biogas Compact Course: Technology and Mass-Dissemination Experiences from Asia*. The University of Oldenburg, Oldenburg.
- Pathak, H., Jain, N., Bhatia, A., Mohanty, S., Gupta, N., (2009), Global Warming Mitigation Potential of Biogas Plants in India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 157, pp. 407–418.
- Suprihatin, (2009), Manfaat Ekologis dan Finansial Pemanfaatan Limbah Cair Agroindustri Sebagai Bahan Baku Dalam Produksi Biogas Untuk Mereduksi Emisi Gas Rumah Kaca, *Jurnal Agromet*, 23, pp. 101-111
- Taufan, A., Novrinaldi., dan Hanifah, U., (2013), Rancang Bangun dan Pengujian Tungku Berbahan Bakar Gas Untuk Industri Tahu Tradisional Berbasis Produksi Bersih, *Agritech*, 33, pp. 442-449
- Widodo, T.W., and Hendriadi, A., (2005), Development of Biogas Processing for Small Scale Farm in Indonesia, *International Seminar on Biogas Technology for Poverty Reduction and Sustainable Development*, pp. 1-7, Beijing.
- Yu, L., Yaoqiu, K., Ningsheng, H., Zhifeng, W., Lianzhong, X., (2008), Popularizing Household-Scale Biogas Digesters for Rural Sustainable Energy Development and Greenhouse Gas Mitigation, *Renewable Energy*, 33, pp. 2027–2035.
- Zhang, J., Smith, K.R., Ma, Y., Ye, S., Jiang, F., Qi, W., Liu, P., Khalil, M.A.K., and Rasmussen R.A., (2000), Greenhouse Gases and Other Airborne Pollutants from Household Stoves in China: a Database for Emission Factors, *Atmospheric Environment*, 34, pp. 4537–4549.