

No: 078 A/UN7.F3.6.8.TL/DL/IX/2023
079 A/UN7.F3.6.8.TL/DL/IX/2023

Laporan Tugas Akhir

**PERENCANAAN PRODUKSI BIOGAS DENGAN
METODE *LIQUID ANAEROBIC DIGESTION* (L-AD)
BERBAHAN BAKU LIMBAH SEKAM PADI
(STUDI KASUS: KECAMATAN BRINGIN,
KABUPATEN SEMARANG)**



Disusun oleh:

Aurellia Aysha Katifa	21080120130121
Muhamad Irfan Fadlurrohman	21080120130130

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2024**

HALAMAN PENGESAHAN

Menyatakan bahwa Laporan Tugas Akhir yang berjudul:

Perencanaan Produksi Biogas Dengan Metode *Liquid Anaerobic Digestion* (L-AD) Berbahan Baku Limbah Sekam Padi (Studi Kasus: Kecamatan Bringin, Kabupaten Semarang)

Disusun oleh:

Aurellia Aysha Katifa 21080120130121


Telah disetujui dan disahkan pada:

Hari :

Tanggal :


Menyetujui,

Penguji I


Dr. Ing. Sudarno, S.T., M.Sc

NIP. 197401311999031003


Pembimbing I


Dr. Ir. Badrus Zaman, S.T., M.T., IPM ASEAN

Eng.

NIP. 197208302000031001

Penguji II


Dr. Ling., Ir. Sri Sumiyati, S.T., M.Si., IPM.,
ASEAN Eng.

NIP. 197103301998022001

Pembimbing II


Prof. Dr. Ir. Syafrudin CES, M.T., IPM

NIP. 195811071988031001

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Lingkungan


Dr. Ing. Sudarno, S.T., M.Sc
NIP. 197401311999031003

HALAMAN PENGESAHAN

Menyatakan bahwa Laporan Tugas Akhir yang berjudul:

Perencanaan Produksi Biogas Dengan Metode *Liquid Anaerobic Digestion* (L-AD) Berbahan Baku Limbah Sekam Padi (Studi Kasus: Kecamatan Bringin, Kabupaten Semarang)

Disusun oleh:

Muhamad Irfan Fadlurrohman 21080120130130

Telah disetujui dan disahkan pada:

Hari :

Tanggal :

Menyetujui,

Penguji I



Ing., Ir. Sri Sumiyati, S.T., M.Si., IPM., ASEAN Eng.

NIP. 197103301998022001


Pembimbing I



Dr. Ir. Badrus Zaman, S.T., M.T., IPM ASEAN Eng.

NIP. 197208302000031001

Penguji II



Dr. Ing. Sudarno, S.T., M.Sc

NIP. 197401311999031003

Pembimbing II



Prof. Dr. Ir. Syafrudin CES, M.T., IPM

NIP. 195811071988031001

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Lingkungan



Dr. Ing. Sudarno, S.T., M.Sc
NIP. 197401311999031003

ABSTRAK

Kebutuhan energi gas di Indonesia yang meningkat setiap tahunnya disebabkan karena pasokan gas bumi yang menurun serta kebutuhan akan gas bumi yang selalu bertambah seiring meningkatnya populasi manusia. Indonesia memiliki sumber daya alam yang melimpah, seperti lahan pertanian yang luas. Tingginya produktivitas pertanian berbanding lurus dengan tingginya limbah dari hasil pertanian, salah satunya limbah sekam padi. Di sisi lain, sekam padi memiliki potensi tinggi untuk dijadikan biogas. Namun, belum ditemukannya kondisi optimum dari produksi biogas sekam padi melalui metode *Liquid Anaerobic Digestion* (L-AD) dan belum dilakukannya perencanaan produksi biogas skala yang lebih besar. Perencanaan pengelolaan limbah sekam padi terdapat di Kecamatan Bringin, Kabupaten Semarang. Setelah melalui proses wawancara, observasi, dan analisis, direncanakan pengelolaan limbah sekam padi sebagai bahan baku produksi biogas. Didapatkan bahwa sekitar 4300 kg limbah sekam padi per hari melalui pengolahan metode L-AD mampu menghasilkan biogas sebesar 170,7 m³ yang dapat melayani hingga 127 rumah yang terbagi di 4 desa. Berdasarkan perhitungan, biaya operasional yang dibutuhkan adalah sebesar Rp. 20.780.934.926 untuk membangun 4 pabrik biogas yang dapat menerima pasokan sekam dari 66 penggilingan padi di 16 desa yang tersebar di wilayah Kecamatan Bringin.

Kata Kunci: Biogas, Sekam Padi, *Liquid Anaerobic Digestion*, Kecamatan Bringin, Kabupaten Semarang

ABSTRACT

The demand for gas energy in Indonesia is increasing every year due to the decreasing supply of natural gas and the need for natural gas which is always increasing as the human population increases. Indonesia has abundant natural resources, such as vast agricultural land. The high agricultural productivity is directly proportional to the high waste from agricultural products, one of which is rice husk waste. On the other hand, rice husk has high potential to be used as biogas. However, the optimum conditions of rice husk biogas production through the Liquid Anaerobic Digestion (L-AD) method have not been found and larger scale biogas production planning has not been carried out. The planning of rice husk waste management is located in Bringin District, Semarang Regency. After a process of interview, observation, and analysis, the management of rice husk waste as raw material for biogas production was planned. It was found that about 4300 kg of rice husk waste per day through L-AD method processing can produce 170.7 m³ of biogas which can serve up to 127 houses divided in 4 villages. Based on the calculation, the operational cost required is Rp. 20,780,934,926 to build 4 biogas plants that can receive husk supply from 66 rice mills in 16 villages spread across the Bringin District area.

Keyword: Biogas, Rice Husk Waste, Liquid Anaerobic Digestion, Bringin District, Semarang Regency

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan salah satu sektor terpenting yang ada di Indonesia. Pertambahan populasi penduduk sangat mempengaruhi permintaan energi, baik secara langsung ataupun dapat ditimbulkan dari perkembangan ekonomi (Dewan Energi Nasional, 2019). Dalam 10 tahun terakhir konsumsi energi di Indonesia mengalami peningkatan sebesar 7 – 8% per tahun seiring peningkatan populasi dan perekonomian yang lebih baik (Sartika & Amar, 2020). Sehingga, kegiatan ekonomi dan dinamika sosial masyarakat perlu didukung dengan ketersediaan energi yang lebih baik. Berdasarkan PP No. 79 Tahun 2014 terkait Kebijakan Energi Nasional, pemenuhan penyediaan energi dan pemanfaatan energi pada tahun 2025 dituntut untuk mewujudkan ketahanan energi dengan diperolehnya energi yang bersumber dari minyak bumi kurang dari 25%, batu bara minimal 30%, gas bumi minimal 22%, dan energi baru dan energi terbarukan paling sedikit 23% dan 31% pada tahun 2050.

Sumber energi konvensional seperti gas alam, minyak bumi, dan batu bara, masih menjadi sumber energi utama dalam konsumsi energi nasional. Semakin besar pemanfaatan sumber energi tak-terbarukan beresiko terhadap kuantitasnya yang semakin berkurang atau bahkan punah. Akibatnya, akan menjadi keperluan untuk mengatasi masalah ini dengan mengembangkan sumber daya terbarukan yang memanfaatkan sumber daya alam. Indonesia memiliki sumber daya alam yang lebih banyak yang dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan daripada bahan bakar fosil, salah satunya adalah biomassa (Febrianti dkk., 2020). Ketika limbah pertanian dihasilkan, biomas dapat digunakan sebagai sumber energi. (Cho & Kim, 2019).

Menurut (Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2013) Pertanian adalah proses mengelola sumber daya hayati untuk menghasilkan produk pertanian berupa tanaman pangan, hortikultura, perkebunan, peternakan, dan sebagainya dalam suatu agroekosistem dengan bantuan teknologi, modal, tenaga kerja, dan manajemen. Sisa tanaman dan limbah agroindustri terutama terdiri dari selulosa

merupakan biopolimer paling umum. Lignin dan hemiselulosa, yang merupakan biomassa lignoselulosa, diikuti oleh selulosa. Karena sebagian besar limbah pertanian dibakar atau terkubur di dalam tanah, akan mencemari udara, air, dan pemanasan global. (Koul et al., 2022).

Kabupaten Semarang merupakan salah satu daerah yang berpotensi menghasilkan biomassa dari limbah di sektor pertanian. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistika Kabupaten Semarang tahun 2022, luas wilayah sawah (panen) di Kabupaten Semarang adalah 40.428,3 ha yang menghasilkan padi sebesar 246.942,2 ton. Wilayah Kabupaten Semarang yang memiliki potensi terbesar dalam produktivitas tanaman padi yaitu terdapat di Kecamatan Bringin. Kecamatan Bringin memiliki luas lahan pertanian sebesar 3.986,9 Ha dengan total produksi tanaman padi sebesar 23.554 Ton. Pada proses penggilingan padi biasanya menghasilkan beras giling antara 50 – 63,5%, sekam sekitar 20 – 30% dan katul sekitar 8 – 12% (Pujotomo, 2017). Pada setiap tempat penggilingan padi menghasilkan tumpukan sekam yang saat ini pemanfaatannya masih rendah. Sekam padi sebagai limbah pertanian mengandung unsur organik berupa selulosa dan hemiselulosa yang dapat dihidrolisis menjadi senyawa yang lebih sederhana. Selanjutnya, senyawa tersebut melalui proses fermentasi akan menghasilkan etanol dan metana (Pujotomo, 2017). Gas Metana (CH_4) merupakan komponen utama dari biogas yang berguna dan memiliki nilai kalor sebesar 20 MJ/m^3 (Sutarno & Feris Firdaus, 2007). Maka, pemanfaatan limbah pertanian berupa sekam padi menjadi biogas merupakan salah satu solusi untuk mendukung Kebijakan Energi Nasional dalam menghasilkan energi baru dan energi terbarukan.

Biogas adalah campuran gas yang dihasilkan dari penguraian bahan organik oleh bakteri melalui proses fermentasi anaerob (kedap udara) (CH_4). Karena kualitas dan jumlah biogas yang dihasilkan akan sangat berpengaruh, bahan baku atau limbah yang digunakan harus diperhatikan selama proses produksi biogas (Yahya dkk., 2018). Biogas dapat diproduksi melalui dua kondisi yaitu, *liquid anaerobic digestion* (L-AD) dan *solid state anaerobic digestion* (SS-AD). Pada penelitian terdahulu produksi biogas yang dihasilkan dari limbah pertanian berupa sekam padi, diperoleh laju produksi biogas dari limbah sekam padi dengan metode

L-AD paling maksimal sebesar 1,303298 (ml/gr TS.hari) dengan konsentrasi padatan 7% dan perlakuan pendahuluan kimia (NaOH). Sedangkan, pada metode SS-AD diperoleh laju produksi biogas paling maksimal sebesar 2,1868 (ml/gr TS.hari) dengan konsentrasi padatan 23% dan perlakuan pendahuluan kimia (NaOH) (Saputri, 2017).

Hal ini tentu memerlukan perhatian khusus, terutama ketika mencari strategi untuk mengelola limbah sekam padi guna produksi biogas sehingga dampak negatifnya terhadap lingkungan dapat diminimalisir, serta memberikan kebermanfaatan bagi masyarakat. Berdasarkan penjelasan di atas, tugas akhir ini dibuat sebagai upaya dalam perencanaan produksi biogas dari limbah sekam padi dengan metode liquid anaerobic digestion (L-AD) sehingga dapat diimplementasikan demi mendukung kemajuan kondisi lingkungan dan pemanfaatan limbah sebagai solusi untuk mendukung kebijakan energi nasional dalam menghasilkan energi baru dan energi terbarukan sumber energi khususnya di Kecamatan Bringin, Kabupaten Semarang.

1.2 Identifikasi Masalah

1. Terdapat aktivitas pertanian yang menghasilkan timbulan limbah sekam padi di Kecamatan Bringin, Kabupaten Semarang.
2. Kecamatan Bringin, Kabupaten Semarang menghasilkan limbah pertanian dalam jumlah banyak yaitu sekam padi yang belum dimanfaatkan secara optimal
3. Limbah sekam padi dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi terbarukan seperti biogas yang dapat menunjang kebutuhan masyarakat
4. Teknologi pengolahan limbah sekam padi diperlukan untuk mendaur ulang dan mengubah limbah menjadi sumber daya yang dapat dimanfaatkan secara maksimal
5. Kondisi operasi optimal untuk produksi biogas dengan teknologi L-AD belum banyak diketahui. Oleh karena itu, perlu dipelajari berbagai faktor yang mempengaruhi produksi biogas dengan teknologi L-AD.

1.3 Pembatasan Masalah

Adapun pembatasan masalah pada tugas akhir ini yaitu:

1. Batasan studi yang diteliti pada tugas akhir yaitu pada sektor pertanian padi di Kecamatan Bringin, Kabupaten Semarang.
2. Proyeksi timbulan limbah sekam padi dihitung sampai tahun 2032.
3. Limbah sekam padi yang akan diidentifikasi hanya bersumber dari wilayah Kecamatan Bringin
4. Metode Liquid Anaerobic Digestion (L-AD) dipelajari dengan kadar total padatan (TS) dibawah 15%.
5. Seluruh pengambilan data baik primer ataupun data sekunder hanya bersumber dari Kecamatan Bringin, Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah.

1.4 Perumusan Masalah, Tujuan, dan Manfaat

1.4.1 Perumusan Masalah

Permasalahan dalam perencanaan yang diajukan adalah :

1. Bagaimana kondisi eksisting pengelolaan limbah sekam padi di Kecamatan Bringin, Kabupaten Semarang?
2. Bagaimana kondisi optimum produksi biogas dari limbah sekam padi dengan metode L-AD di Kecamatan Bringin, Kabupaten Semarang?
3. Bagaimana strategi perencanaan produksi biogas dari limbah sekam padi yang optimal di Kecamatan Bringin, Kabupaten Semarang?
4. Bagaimana rencana anggaran biaya perencanaan produksi biogas dengan dari limbah sekam padi Kecamatan Bringin, Kabupaten Semarang?
5. Bagaimana kelayakan ekonomi, teknis, dan lingkungan perencanaan produksi biogas dari limbah sekam padi di Kecamatan Bringin, Kabupaten Semarang?

1.4.2 Perumusan Tujuan

Perencanaan ini memiliki tujuan yaitu :

1. Mengetahui dan menganalisis kondisi eksisting pengelolaan limbah sekam padi di Kecamatan Bringin, Kabupaten Semarang.
2. Menganalisis kondisi optimum produksi biogas dari limbah sekam padi dengan metode L-AD di Kecamatan Bringin, Kabupaten Semarang.
3. Menentukan strategi perencanaan produksi biogas dari limbah sekam padi yang optimal di Kecamatan Bringin, Kabupaten Semarang.

4. Menentukan rencana anggaran biaya perencanaan produksi biogas dari limbah sekam padi di Kecamatan Bringin, Kabupaten Semarang.
5. Menganalisis kelayakan ekonomi, teknis, dan lingkungan perencanaan produksi biogas dari limbah sekam padi di Kecamatan Bringin, Kabupaten Semarang.

1.4.3 Perumusan Manfaat

1. Memberikan informasi kepada pembaca tentang sumber energi biogas yang dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil yang lebih ramah lingkungan.
2. Memberikan solusi untuk pemerintah kabupaten dalam penanganan limbah pertanian khususnya sekam padi yang dapat dijadikan biogas.
3. Mendukung upaya pemerintah untuk mengganti bahan bakar minyak dengan energi baru dan terbarukan seperti yang tercantum pada PP No. 79 Tahun 2014 terkait Kebijakan Energi Nasional.
4. Meningkatkan pengetahuan penulis tentang proses pengelolaan limbah sekam padi, termasuk analisis volume, neraca massa, dan efek pada lingkungan yang dihasilkan dari pengolahan limbah sekam padi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alur, M. D. (1999). METABOLIC PATHWAYS | Release of Energy (Anaerobic). In R. K. Robinson (Ed.), *Encyclopedia of Food Microbiology* (pp. 1279–1288). Elsevier.
<https://doi.org/10.1006/rwfm.1999.1000>
- Ambar, P. (2015). *INSTALASI BIOGAS*.
- Amrillah, N. A. Z., Hanum, F. F., & Rahayu, A. (2022). *Studi Efektivitas Metode Ekstraksi Selulosa dari Agricultural Waste*.
<http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaslit>
- Anshar, M., Ani, F. N., & Kader, A. S. (2016). *ELECTRICAL ENERGY POTENTIAL OF RICE HUSK AS FUEL FOR POWER GENERATION IN INDONESIA*. 11(6). www.arpnjournals.com
- Appels, L., Lauwers, J., Degrve, J., Helsen, L., Lievens, B., Willems, K., Van Impe, J., & Dewil, R. (2011). Anaerobic digestion in global bio-energy production: Potential and research challenges. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 15, Issue 9, pp. 4295–4301). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.121>
- Asfar, A. M. I. A., Asfar, A. M. I. T., Thaha, S., Kurnia, A., Budianto, E., & Syaifullah, A. (2022). PELATIHAN TRANSFORMASI SEKAM PADI SEBAGI BIOCHAR ALTERNATIF. *Kumawula: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 95.
<https://doi.org/10.24198/kumawula.v5i1.35974>
- Asmare, M. (2014). *Design of Cylindrical Fixed dome Bio Digester in the Condominium Houses for Cooking Purpose at Dibiza Site, East Gojjam, Ethiopia*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:54835511>
- Awulu, J. O., Omale, P. A., & Ameh, J. A. (2018). Comparative analysis of calorific values of selected agricultural wastes. *Nigerian Journal of Technology*, 37(4), 1141. <https://doi.org/10.4314/njt.v37i4.38>

- Badan Pusat Statistika Kabupaten Semarang. (2022). *Luas Panen, Produksi dan Produktivitas Tanaman Padi Sawah Menurut Kecamatan di Kabupaten Semarang*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2018). *SNI 7763:2018 tentang Pupuk Organik Padat*. Badan Standardisasi Nasional.
- Balasuriya, B. T. G., Ghose, A., Gheewala, S. H., & Prapasongsa, T. (2022). Assessment of eutrophication potential from fertiliser application in agricultural systems in Thailand. *Science of the Total Environment*, 833. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154993>
- Balat, M., & Balat, H. (2010). Progress in biodiesel processing. In *Applied Energy* (Vol. 87, Issue 6, pp. 1815–1835). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.01.012>
- Balogh, J. M. (2019). Agriculture-specific determinants of carbon footprint. *Studies in Agricultural Economics*, 121(3), 166–170. <https://doi.org/10.7896/j.1918>
- Bankar, S. B., Survase, S. A., Ojamo, H., & Granström, T. (2013). Biobutanol: the outlook of an academic and industrialist. *RSC Advances*, 3(47), 24734–24757. <https://doi.org/10.1039/C3RA43011A>
- Bessei, W. (2006). Welfare of broilers: a review. *World's Poultry Science Journal*, 62(3), 455–466. <https://doi.org/DOI:10.1017/S0043933906001085>
- Bruni, E., Jensen, A. P., & Angelidaki, I. (2010). Comparative study of mechanical, hydrothermal, chemical and enzymatic treatments of digested biofibers to improve biogas production. *Bioresource Technology*, 101(22), 8713–8717. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.108>
- Budhy, T. I., Arundina, I., Surboyo, M. D. C., & Halimah, A. N. (2021). The Effects of Rice Husk Liquid Smoke in Porphyromonas gingivalis-Induced Periodontitis. *European Journal of Dentistry*, 15(4), 653–659. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1727554>

- Budiarto, H., Fitrah, M., Dan, A., & Tuhuloula, A. (2014). *Pemanfaatan Sludge Hasil Produksi Biogas Berbasis Limbah Cair Latex Menjadi Pupuk Kompos Cair* (Vol. 3, Issue 1).
- Bukhtiarova, A., Hayriyan, A., Chentsov, V., & Sokol, S. (2019). Modeling the impact assessment of agricultural sector on economic development as a basis for the country's investment potential. *Investment Management and Financial Innovations*, *16*(3), 229–240. [https://doi.org/10.21511/imfi.16\(3\).2019.21](https://doi.org/10.21511/imfi.16(3).2019.21)
- Champagne, E. T. (2004). Rice chemistry and technology, third ed., American Association of Cereal Chemists Inc., *Journal of Food Composition and Analysis*, *18*, 343–344. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:102415337>
- Chandra, A., Miryanti, A., Widjaja, L. B., & Pramudita, A. (2012). *Isolasi dan Karakterisasi Silika dari Sekam Padi*.
- Chandra, R., Takeuchi, H., & Hasegawa, T. (2012). Hydrothermal pretreatment of rice straw biomass: A potential and promising method for enhanced methane production. *Applied Energy*, *94*, 129–140. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.01.027>
- Chang, C. H., Liu, C. C., & Tseng, P. Y. (2013). Emissions inventory for rice straw open burning in Taiwan based on burned area classification and mapping using Formosat-2 satellite imagery. *Aerosol and Air Quality Research*, *13*(2), 474–487. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2012.06.0150>
- Cho, S., & Kim, J. (2019). Multi-site and multi-period optimization model for strategic planning of a renewable hydrogen energy network from biomass waste and energy crops. *Energy*, *185*, 527–540. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.07.053>
- Choi, Y., Ryu, J., & Lee, S. R. (2020). Influence of carbon type and carbon to nitrogen ratio on the biochemical methane potential, pH, and ammonia nitrogen in anaerobic digestion. *Journal of Animal Science and Technology*, *62*(1), 74–83. <https://doi.org/10.5187/JAST.2020.62.1.74>

- Das, H., & Singh, S. K. (2004). *Useful byproducts from cellulosic wastes of agriculture and food industry - a critical appraisal*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition.
- Deublein, D., & Steinhauser, A. (2008). *Biogas from Waste and Renewable Resources*. Strauss GmbH.
- Dewan Energi Nasional. (2019). *ENERGI INDONESIA 2019 SEKRETARIAT JENDERAL DEWAN ENERGI NASIONAL*.
- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air (Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan)*. Kanisius.
- Faizal, M., Saputra M, & Zainal, F. A. (2015). Pembuatan Briket Bioarang Dari Campuran Batubara dan Biomassa Sekam Padi dan Eceng Gondok. *Jurnal Teknik Kimia*, 21(4), 27–38.
- Fang, Y. R., Wu, Y., & Xie, G. H. (2019). Crop residue utilizations and potential for bioethanol production in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109288>
- Febrianti, N., Filiana, F., & Hasanah, P. (2020). *Jurnal Presipitasi Potential of Renewable Energy Resources from Biomass Derived by Natural Resources in Balikpapan*. 17(3), 316–323.
- Febriany, I. E. (2014). *STRATEGI PENURUNAN KEBOCORAN DI SISTEM DISTRIBUSI AIR BERSIH KOTA MATARAM*.
- Fuhaid, N., & Finahari, N. (2008). Aplikasi bahan bakar padat berbahan bakar sekam dan jerami sebagai bahan bakar alternatif bagi petani. *Widya Teknika*, 16(1).
- Garcês, A. P. J. T., Afonso, S. M. S., Chilundo, A., & Jairoce, C. T. S. (2017). Evaluation of different litter materials for broiler production in a hot and humid environment: 2. Productive performance and carcass characteristics. *Tropical Animal Health and Production*, 49(2), 369–374. <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1202-7>
- Ghosh, P., Shah, G., Sahota, S., Singh, L., & Vijay, V. K. (2020). Chapter 7 - Biogas production from waste: technical overview, progress, and challenges. In L. Singh, A. Yousuf, & D. M. Mahapatra (Eds.), *Bioreactors* (pp. 89–

- 104). Elsevier. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821264-6.00007-3](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821264-6.00007-3)
- Glushankova, I., Ketov, A., Krasnovskikh, M., Rudakova, L., & Vaisman, I. (2018). Rice hulls as a renewable complex material resource. *Resources*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/resources7020031>
- Guendouz, J., Buffière, P., Cacho-Rivero, J., Carrère, M., & Delgenes, J. (2008). High-solids anaerobic digestion: Comparison of three pilot scales. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 58, 1757–1763. <https://doi.org/10.2166/wst.2008.521>
- Harahap, I. V. (2007). *Uji Beda Komposisi Campuran Kotoran Sapi dengan Beberapa Jenis Limbah Pertanian terhadap Biogas yang Dihasilkan*.
- Harsono, S. (2013). *Aplikasi Biogas Sistem Jaringan Dari Kotoran Sapi Di Desa Bumijaya Kec, Anak Tuha Lampung Tengah Sebagai Energi Alternatif Yang Efektif*. Universitas Lampung.
- Haryadi. (2006). *Teknologi Pengolahan Beras*.
- Haryati, T. (2006). Biogas : Limbah Peternakan yang Menjadi Sumber Energi Alternatif. In *Jurnal Wartzoa* (Vol. 16, Issue 3).
- Hendriks, A. T. W. M., & Zeeman, G. (2009). *Pretreatments to Enhance The Digestibility of Lignocellulosic Biomass* (Vol. 100). Bioresource Technology.
- Hidayatulloh, A. W., & Prabowo, E. W. (2011). *Mikroorganisme Azotobacter Chroococcum dan Bacillus Megaterium Terhadap Pembuatan Kompos Limbah Padat Digester Biogas dari Enceng Gondok (Eichornia Crassipes)*.
- Hoang, A. T., Ong, H. C., Fattah, I. M. R., Chong, C. T., Cheng, C. K., Sakthivel, R., & Ok, Y. S. (2021). Progress on the lignocellulosic biomass pyrolysis for biofuel production toward environmental sustainability. In *Fuel Processing Technology* (Vol. 223). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2021.106997>
- Hozairi, Bakir, & Buhari. (2012). *Pemanfaatan Kotoran Hewan Menjadi Energi Biogas Untuk Mendukung Pertumbuhan UMKM di Kabupaten Pamekasan*.

- Hu, Y., Yao, M., Liu, Y., & Zhao, B. (2020). Personal exposure to ambient PM_{2.5}, PM₁₀, O₃, NO₂, and SO₂ for different populations in 31 Chinese provinces. *Environment International*, *144*.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106018>
- Huang, J., Xu, C. chun, Ridoutt, B. G., Wang, X. chun, & Ren, P. an. (2017). Nitrogen and phosphorus losses and eutrophication potential associated with fertilizer application to cropland in China. *Journal of Cleaner Production*, *159*, 171–179. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.008>
- Igoni, A. H., Abowei, M. F. N., Ayotamuno, M. J., & Eze, C. L. (2008). Effect of Total Solids Concentration of Municipal Solid Waste on The Biogas Produced in an Anaerobic Continuous Digester. *Agricultural Engineering International: The CIGR Ejournal*, *X*, 1–11.
- Indonesia. (2010). *Summary Konsep Pola Jratunseluna 161211 (Kepmen PU No. 588)*. Pemerintah Indonesia.
- Irawan, D., & Khudori, A. (2015). *PENGARUH SUHU ANAEROBIK TERHADAP HASIL BIOGAS MENGGUNAKAN BAHAN BAKU LIMBAH KOLAM IKAN GURAME* (Vol. 4, Issue 1).
- Jang, Y.-S., Malaviya, A., Cho, C., Lee, J., & Lee, S. Y. (2012). Butanol production from renewable biomass by clostridia. *Bioresource Technology*, *123*, 653–663.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.07.104>
- Junus, M. (1987). *Teknik Membuat dan Memanfaatkan Unit Gas Bio*. Gadjah Mada University Press.
- Kabupaten Semarang. (2020). *Peraturan Bupati Semarang No. 54 Tahun 2020 tentang Rencana Kerja Pemerintah Daerah Kabupaten Semarang Tahun 2021*. Pemerintah Kabupaten Semarang.
- Kartika, D. (2016). Peningkatan Ketersediaan Fosfor (P) Dalam Tanah Akibat Penambahan Arang Sekam Padi Dan Analisisnya Secara Spektrofotometri. *Thesis*.

- Karyaningsih, S. (2012). PEMANFAATAN LIMBAH PERTANIAN UNTUK Mendukung Peningkatan Kualitas Lahan dan Produktivitas Padi Sawah. In *Buana Sains* (Vol. 12).
- Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan. (2015). *TEKNOLOGI BIOGAS*.
- Klass, D. L. (2004). *Biomass for Renewable Energy and Fuels*. www.beral.org,
- Koul, B., Yakoob, M., & Shah, M. P. (2022). Agricultural waste management strategies for environmental sustainability. *Environmental Research*, 206. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112285>
- Kumar, G., Shobana, S., Nagarajan, D., Lee, D. J., Lee, K. S., Lin, C. Y., Chen, C. Y., & Chang, J. S. (2018). Biomass based hydrogen production by dark fermentation — recent trends and opportunities for greener processes. In *Current Opinion in Biotechnology* (Vol. 50, pp. 136–145). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2017.12.024>
- Kumar, P., & Singh, R. K. (2021). *Selection of sustainable solutions for crop residue burning: an environmental issue in northwestern states of India*. (3rd ed., Vol. 23). Springer Netherlands.
- Li, Y., Park, S., & Zhu, J. (2012). Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 821–826. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.042>
- Matin, H. H. A. (2023). *MODEL PENERAPAN TEKNOLOGI PRODUKSI BIOGAS MENGGUNAKAN BAHAN BAKU LIMBAH SEKAM PADI*.
- Matin, H. H. A., Nugraha, W. D., & Syafrudin. (2016). Pengaruh C/N Ratio pada Produksi Biogas dari Limbah Sekam Padi dengan Metode Solid State Anaerobic Digestion (SS-AD). In *Jurnal Teknik Lingkungan* (Vol. 5, Issue 4).
- Matin, H. H. A., Syafrudin, S., & Suherman, S. (2023). Rice Husk Waste: Impact on Environmental Health and Potential as Biogas. *Kemas*, 18(3), 431–436. <https://doi.org/10.15294/kemas.v18i3.42467>
- Matz, S. A. (1970). *Cereal Technology*. AVI Publishing Company. <https://books.google.co.id/books?id=KDaWQgAACAAJ>

- Mayasari, H. D., Riftanto, I. M., Nur'aini, L., & Ariyanto, M. R. (2010). *Pembuatan Biodigester dengan Uji Coba Kotoran Sapi sebagai Bahan Baku*.
- Miyarthaluna, G. K. (2017). *ANALISIS PRESSURE DROP PADA PIPA JARINGAN PELANGGAN BIOGAS DI TPA SUPITURANG KOTA MALANG*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Mohitpour, M., Golshan, H., & Murray, A. (2000). *Pipeline_Design_and_Construction_A_Pract.*
- Mosey, F. E. (1983). Mathematical Modelling of the Anaerobic Digestion Process: Regulatory Mechanisms for the Formation of Short-Chain Volatile Acids from Glucose. *Water Science and Technology*, 15, 209–232. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:101607609>
- Mustamu, N. E. (2020). *Sludge Biogas Sebagai Alternatif Pengganti Pupuk Kimia*. Literasi Nusantara.
- Muyiyya, N. D., & Kasisira, L. L. (2009). *Assessment of the Effect of Mixing Pig and Cow Dung on Biogas Yield: Vol. XI*.
- Nappu, M. B. (2013). *Sebaran Potensi Limbah Tanaman Padi dan Jagung serta Pemanfaatannya di Sulawesi Selatan*.
- Ndraha, N. (2009). *Uji Komposisi Bahan Pembuat Briket Bioarang Tempurung Kelapa Dan Serbuk Kayu Terhadap Mutu Yang Dihasilkan*. <https://www.researchgate.net/publication/42349015>
- Nopharatana, A., Pullammanappallil, P. C., & Clarke, W. P. (2007a). Kinetics and dynamic modelling of batch anaerobic digestion of municipal solid waste in a stirred reactor. *Waste Management*, 27(5), 595–603. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.04.010>
- Nopharatana, A., Pullammanappallil, P. C., & Clarke, W. P. (2007b). Kinetics and dynamic modelling of batch anaerobic digestion of municipal solid waste in a stirred reactor. *Waste Management*, 27(5), 595–603. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.04.010>
- Novia, N., Wijaya, D., & Yanti, P. (2017). *PENGARUH WAKTU DELIGNIFIKASI TERHADAP LIGNIN DAN WAKTU SSF TERHADAP*

ETANOL PEMBUATAN BIOETANOL DARI SEKAM PADI.

<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:117653416>

- Nugroho, P. (2013). *Panduan Membuat Pupuk Cair*. Pustaka Baru Press.
- Okeh, O. C., Onwosi, C. O., & Odibo, F. J. (2013). Biogas Production from Rice Husks Generated From Various Rice Mills in Ebonyi State, Nigeria. *Renewable Energy*, 204–208.
- Papacz, W. (2011). Biogas as Vehicle Fuel. *Journal of KONES Powerstrain and Transport*, 18(1), 403–410.
- Partama, I. B. G., Yadnya, T. G. B., & Trisnadewi, D. A. A. A. S. (2018). *PEMANFAATAN SEKAM PADI TERAMONIASI SERTA TERBIOFERMENTASI DALAM RANSUM DISUPLEMENTASI DAUN SIRIH (Piper beetle L.) TERHADAP PENAMPILAN ITIK BALI BETINA FASE PERTUMBUHAN*.
- Pertiwiningrum, A. (2015). *Instalasi Biogas*. Kolom Cetak.
- Prabhat K. Gupta, Shivraj Sahai, Nahar Singh, C.K. Dixit, D. P. Singh, C. Sharma, M. K. Tiwari, Raj K. Gupta, & S. C Garg. (2004). Residue burning in rice-wheat cropping system: Causes and implications. *Current Science*, 87.
- Pramana, A., Rahman Razak, A., Soekarno Hatta Km, J., & Bumi Tadulako Tondo Palu, K. (2016). HIDROLISIS SELULOSA DARI SEKAM PADI (*Oryza sativa*) MENJADI GLUKOSA DENGAN KATALIS ARANG TERSULFONASI [Cellulose Hydrolysis from Rice Husk (*Oryza sativa*) Into Glucosa With Sulfonated Charcoal Catalyst]. *KOVALEN*, 2(3), 61–66.
- Prihatiningtyas, S., Sholihah, F. N., & Meriana, W. N. (2019). *BIODIGESTER UNTUK BIOGAS*.
- Primadita, D. S., Kumara, S., & Ariastina, W. (2020). A Review on Biomass For Electricity Generation In Indonesia. *Journal of Electrical, Electronics and Informatics*, 4(1). <https://www.researchgate.net/publication/342739788>
- Priyadi, R. (2017). *TEKNOLOGI M-BIO*. PPS. Unsil Press.

- Pujotomo, I. (2017). *POTENSI PEMANFAATAN BIOMASSA SEKAM PADI UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK MELALUI TEKNOLOGI GASIFIKASI* (Vol. 9, Issue 2).
- Purba, T., Ningsih, H., Purwaningsih, Juneadi, A. S., Gunawan, B., Junairiah, Firgiyanto, R., & Arsi. (2021). *Tanah dan Nutrisi Tanaman*. Yayasan Kita Menulis.
- Rajagopalan, G., He, J., & Yang, K. L. (2016). One-pot fermentation of agricultural residues to produce butanol and hydrogen by Clostridium strain BOH3. *Renewable Energy*, 85, 1127–1134. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.051>
- Republik Indonesia. (2011). *Permentan No. 70 Tahun 2011 Tentang Pupuk Organik Pupuk Hayati dan Pembenh Tanah*.
- Republik Indonesia. (2013). Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2013. In Pemerintah Indonesia (Ed.), *Pemerintah Indonesia*. Sekretariat Negara.
- Republik Indonesia. (2014). PP No. 79 Thn 2014. *Peraturan Pemerintah Nomor 79*.
- Risberg, K., Sun, L., Levén, L., Horn, S. J., & Schnürer, A. (2013). *Biogas Production From Wheat Straw And Manure – Impact Of Pretreatment And Process Operating Parameters*. *Bioresource Technology* (Vol. 149).
- Röder, M., Thornley, P., & Jamieson, C. (2024). The greenhouse gas performance and climate change mitigation potential from rice straw biogas as a pathway to the UN sustainable development goals. *Biomass and Bioenergy*, 182. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2024.107072>
- Sandilands, V., & Hocking, P. M. (2012). *Alternative systems for poultry: Health, welfare and productivity*. Centre for Agriculture and Bioscience.
- Santo, R. F., Nuraeni, S., & Rochiyat. (2010). *Potensi Sekam Sebagai Bahan Alternatif yang Dapat Dipakai Berulang-ulang*. Institut Pertanian Bogor.
- Sarkar, N., Ghosh, S. K., Bannerjee, S., & Aikat, K. (2012). Bioethanol production from agricultural wastes: An overview. In *Renewable Energy* (Vol. 37, Issue 1, pp. 19–27). <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.06.045>

- Sartika, Y., & Amar, S. (2020). *Pengaruh Perekonomian dan Jumlah Penduduk Terhadap Permintaan Bahan Bakar Minyak di Indonesia* (Vol. 2, Issue 4). <http://ejournal.unp.ac.id/students/index.php/epb/index>
- Sulistyo, S., & Yanti, Y. (2024). Perbandingan Penambahan Air pada Proses Pembuatan Biogas dari Kotoran Sapi pada Praktikum Pengolahan Limbah Peternakan. In *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan* (Vol. 6, Issue 1).
- Sun, Q., Li, H., Yan, J., Liu, L., Yu, Z., & Yu, X. (2015). Selection of appropriate biogas upgrading technology-a review of biogas cleaning, upgrading and utilisation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 521–532. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.029>
- Sunarsih, E., Suheryanto, Mutahar, R., & Garmini, R. (2019). Risk assesment of air pollution exposure (NO₂, SO₂, total suspended particulate, and particulate matter 10 micron) and smoking habits on the lung function of bus drivers in Palembang City. *Kesmas*, 13(4), 202–206. <https://doi.org/10.21109/kesmas.v13i4.1923>
- Supriyanto, & Fiona, F. (2010). Pemanfaatan Arang Sekam untuk Memperbaiki Pertumbuhan Semai Jabon (*Anthocephalus cadamba* (Roxb. *Jurnal Silviculture Tropika*, 01, 24–28.
- Surdianto, Y., Sutrisna, N., Basuno, & Solihin. (2015). *Panduan Teknis Cara Membuat Arang Sekam*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Jawa Barat.
- Suryaning Saputri, E. (2017). STUDI PENGARUH METODE L-AD DAN SS-AD TERHADAP PRODUKSI BIOGAS DARI LIMBAH SEKAM PADI. In *Jurnal Teknik Lingkungan* (Vol. 6, Issue 3). <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/tlingkungan>
- Sutarno, & Feris Firdaus. (2007). *Analisis Prestasi Produksi Biogas (CH₄) dari Polyethylene Biodigester Berbahan Baku Limbah Ternak Sapi.: Vol. 4:1*. Logika.
- Suyitno, Sujono, A., & Dharmanto. (2010). *TEKNOLOGI BIOGAS*.

- Suzuki, K., Watanabe, T., & Lam, V. (2001). Concentrations and Crystallization of Phosphate, Ammonium and Minerals in the Effluents of Bio-Gas Digesters in the Mekong Delta, Vietnam. *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ*, 35(4), 271–276. <https://doi.org/10.6090/jarq.35.271>
- Tipayarom, D., & Oanh, N. T. K. (2007). Effects from open rice straw burning emission on air quality in the Bangkok metropolitan region. *ScienceAsia*, 33(3), 339–345. <https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2007.33.339>
- Umrisu, M. L., Pingak, R. K., & Johannes, A. Z. (2018). PENGARUH KOMPOSISI SEKAM PADI TERHADAP PARAMETER FISIS BRIKET TEMPURUNG KELAPA. *Jurnal Fisika : Fisika Sains Dan Aplikasinya*, 3(1), 37–42. <https://doi.org/10.35508/fisa.v3i1.592>
- Utomo, P., & Yunita, I. (2014). *Sintesis Zeolit dari Abu Sekam Padi Pada Temperatur Kamar*.
- Vesilind, P. A., Weiner, R. F., & Peirce, J. J. (1990). *Environmental Pollution and Control*. Butterworth-Heinemann.
- Vogeli, Y., Lohri, C. R., Gallardo, A., Diener, S., & Zurbugg, C. (2014). *Anaerobic digestion of biowaste in developing countries : Practical information and case studies*. Eawag-Sandec.
- Wahyono, E. H., & Sudarno, N. (2012). *Biogas : Energi Ramah Lingkungan*. Yapeka.
- Wahyuni, S. (2011). *Biogas Energi Terbarukan Ramah Lingkungan dan Berkelanjutan*.
- Wahyuni, S. (2017). *Biogas hemat energi pengganti listrik, bbm dan gas rumah tangga*. Agro Media Pustaka.
- Widihati, I. A. G., Simpen, I., & Puspawati N.M. (2013). Produksi Bioenergi Alternatif Dalam Biodigester Mobile melalui Pemanfaatan Limbah Ternak Sapi Bali untuk Menunjang Peternakan Berkelanjutan. *Udayana Mengabdikan*, 12, 2, 84–86.
- Yahya, Y., Tamrin, T., & Triyono, S. (2018). PRODUKSI BIOGAS DARI CAMPURAN KOTORAN AYAM, KOTORAN SAPI, DAN RUMPUT

GAJAH MINI (*Pennisetum Purpureum* cv. Mott) DENGANSISTEM BATCH. In *Jurnal Teknik Pertanian Lampung* Vol (Vol. 6, Issue 3).

Zabed, H., Sahu, J. N., Boyce, A. N., & Faruq, G. (2016). Fuel ethanol production from lignocellulosic biomass: An overview on feedstocks and technological approaches. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 66, pp. 751–774). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.038>

Zhu, J., Zheng, Y., Xu, F., & Li, Y. (2014). Solid-state anaerobic co-digestion of hay and soybean processing waste for biogas production. *Bioresource Technology*, 154, 240–247. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.12.045>

Zupancic, G. D., & Grilc, V. (2012). Anaerobic Treatment and Biogas Production from Organic Waste. In *Management of Organic Waste*. InTech. <https://doi.org/10.5772/32756>