

No: 080 A/UN7.F3.6.8.TL/DL/II/2023

081 A/UN7.F3.6.8.TL/DL/II/2023

Laporan Tugas Akhir

**PERENCANAAN INSTALASI BIOGAS DENGAN METODE
LIQUID ANAEROBIC DIGESTION (L-AD) BERBAHAN
BAKU SEKAM PADI DI KECAMATAN PABELAN,
KABUPATEN SEMARANG**



Disusun oleh:

Aida Rahma Fajriati 21080120120015

Muhammad Farras Raihan Santosa 21080120130139

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

2024

HALAMAN PENGESAHAN

Menyatakan bahwa Laporan Tugas Akhir yang berjudul:
Perencanaan Instalasi Biogas dengan Metode *Liquid Anaerobic Digestion* (L-AD)
Berbahan Baku Sekam Padi di Kecamatan Pabelan, Kabupaten Semarang

Disusun oleh:

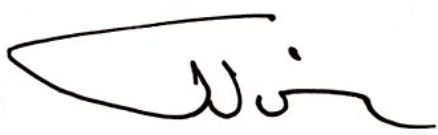
Aida Rahma Fajriati 21080120120015

Telah disetujui dan disahkan pada:

Hari : Rabu
Tanggal : 5 Juni 2024

Menyetujui,

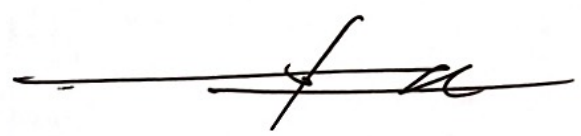
Penguji I



Ir. Wiharyanto Oktiawan S.T., M.T.

NIP. 197310242000031001

Pembimbing I



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

NIP. 195811071988031001

Penguji II



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

NIP. 197401311999031003

Pembimbing II



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

NIP. 197208302000031001

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Lingkungan



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

NIP. 197401311999031003

HALAMAN PENGESAHAN

Menyatakan bahwa Laporan Tugas Akhir yang berjudul:
Perencanaan Instalasi Biogas dengan Metode *Liquid Anaerobic Digestion* (L-AD)
Berbahan Baku Sekam Padi di Kecamatan Pabelan, Kabupaten Semarang

Disusun oleh:

Muhammad Farras Raihan S. 21080120130139

Telah disetujui dan disahkan pada:

Hari : Rabu
Tanggal : 5 Juni 2024

Menyetujui,

Penguji I



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

NIP. 197401311999031003

Pembimbing I



Dr. Ir. Syafrudin CES, M.T., IPM ASEAN Eng.

NIP. 195811071988031001

Penguji II



Ir. Wiharyanto Oktiawan S.T., M.T.

NIP. 197310242000031001

Pembimbing II



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

NIP. 197208302000031001

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Lingkungan



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

NIP. 197401311999031003

ABSTRAK

Pemanfaatan energi secara nasional masih didominasi oleh energi tak terbarukan yang semakin berkurang. Hal tersebut menjadi sebuah tuntutan bagi suatu daerah untuk mengembangkan sumber energi terbarukan yang memanfaatkan sumber daya alam. Kecamatan Pabelan, Kabupaten Semarang memiliki potensi sumber daya alam berupa biomassa dari limbah di sektor pertanian berupa sekam padi tidak dimanfaatkan sebesar 3.225,21 ton/tahun pada tahun 2023 yang berpotensi menghasilkan biogas sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan. Proses pembentukan biogas terdiri dari 2 metode, yaitu metode *Solid State Anaerobic Digestion* (SS-AD) yang merupakan proses fermentasi bahan organik yang membutuhkan kandungan bahan kering (TS) lebih dari 15% dan *Liquid Anaerobic Digestion* (L-AD) dengan kandungan bahan kering (TS) kurang dari 15% yang membutuhkan pembuburan bahan. Berdasarkan hasil penelitian, laju produksi biogas dari limbah sekam padi dengan metode *Liquid Anaerobic Digestion* (L-AD) serta dilakukan perlakuan pendahuluan (*pre-treatment*) dengan grinding (diserbuk) bahan baku hingga berukuran 0,8-1 mm diperoleh paling maksimal sebesar 6,132 ml/grTS.hari sehingga ketika terdapat limbah sekam padi sebanyak 1 ton akan menghasilkan biogas sebesar 58,72 m³ atau setara 27,01 kg gas LPG per harinya. Potensi ini dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi domestik berupa gas untuk memasak bagi masyarakat setempat. Untuk memenuhi kebutuhan energi domestik berupa gas di Kecamatan Pabelan, dibutuhkan 6 instalasi biogas dengan 4 tipe kapasitas produksi biogas, yaitu 68,73 m³, 64,69 m³, 60,65 m³, dan 56,60 m³ yang akan melayani 17 Kelurahan. Setiap instalasi biogas akan dilengkapi dengan gudang penyimpanan sekam padi, mesin grinding (diserbuk) sekam padi, *inlet tank*, *reactor tank*, *slurry tank*, *methane purifier*, *gas holder*, dan *filter press* sebagai area produksi utama serta dilengkapi dengan area penunjang produksi lainnya. Perencanaan instalasi biogas di Kecamatan Pabelan dalam hal ini dilakukan dalam rangka mengurangi tumpukan limbah sekam padi serta memanfaatkannya untuk dapat memenuhi kebutuhan energi domestik berupa gas untuk melayani 364 KK pada tahun 2032 dengan biaya investasi instalasi biogas tipikal sebesar Rp6.334.887.380,30. Hasil analisis dengan *Net Present Value*, *Internal Rate of Return*, *Benefit Cost Ratio*, dan *Payback Period* menyatakan bahwa perencanaan instalasi biogas tipikal di Kecamatan Pabelan layak untuk dilakukan.

Kata kunci: Energi Baru Terbarukan (EBT), biomassa, sekam padi, *Liquid Anaerobic Digestion* (L-AD), biogas, instalasi biogas

ABSTRACT

National energy utilization is still dominated by non-renewable energy, which is decreasing. This is a demand for a region to develop renewable energy sources that utilize natural resources. Pabelan District, Semarang Regency, has the potential of natural resources in the form of biomass from waste in the agricultural sector in the form of unutilized rice husks amounting to 3,225.21 tons per year in 2023, which has the potential to produce biogas so that it can be utilized as a renewable energy source. The process of biogas formation consists of two methods, namely the Solid State Anaerobic Digestion (SS-AD) method, which is a fermentation process of organic matter that requires a dry matter content (TS) of more than 15%, and Liquid Anaerobic Digestion (L-AD), with a dry matter content (TS) of less than 15% and requires material fertilization. Based on the results of research, the rate of biogas production from rice husk waste with the Liquid Anaerobic Digestion (L-AD) method and pre-treatment by chopping raw materials to a size of 0,8 – 1 mm obtained a maximum of 6.132 ml/grTS.day, so that when there is 1 ton of rice husk waste, it will produce 58.72 m³ of biogas, or the equivalent of 27.01 kg of LPG gas per day. This potential can be utilized to meet domestic energy needs by cooking gas for the local community. To meet the domestic energy needs in the form of gas in the Pabelan District, 6 biogas installations are needed with 4 types of biogas production capacity, namely 68.73 m³, 64.69 m³, 60.65 m³, and 56.60 m³, which will serve 17 villages. Each biogas installation will be equipped with a rice husk storage warehouse, rice husk chopping machine, inlet tank, reactor tank, slurry tank, methane purifier, gas holder, and filter press as the main production area and equipped with other production support areas. The planning of biogas installations in Pabelan District in this case is carried out to reduce the pile of rice husk waste and utilize it to be able to meet domestic energy needs in the form of gas to serve 364 households in 2032 with a typical biogas installation investment cost of Rp6,334,887,380.30. The analysis results with net present value, internal rate of return, benefit-cost ratio, and payback period state that planning a typical Instalasi Biogas in Pabelan District is feasible.

Keywords: New Renewable Energy, biomass, rice husk, Liquid Anaerobic Digestion (L-AD), biogas, biogas installation.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan salah satu sektor terpenting yang ada di Indonesia. Perubahan populasi penduduk sangat mempengaruhi besaran dan komposisi 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. 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.

Pemanfaatan energi secara nasional masih didominasi oleh energi yang berasal dari sumber-sumber energi konvensional yaitu sumber energi tak-terbarukan seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara. Semakin besar pemanfaatan sumber energi tak-terbarukan beresiko terhadap kuantitasnya yang semakin berkurang atau bahkan punah. Risiko tersebut menjadi suatu tuntutan bagi suatu daerah akan adanya alternatif dalam mengatasi masalah tersebut dengan cara mengembangkan sumber energi terbarukan yang memanfaatkan sumber daya alam. Indonesia memiliki sumber daya alam yang berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan, jenis sumber daya energi terbarukan yang memiliki jumlah lebih banyak dibandingkan dengan bahan bakar fosil salah satunya ialah biomassa (Febrianti et al., 2020). Biomassa sebagai sumber energi dapat diturunkan dalam jumlah yang banyak dari berbagai residu lignoselulosa yang dihasilkan oleh limbah sektor pertanian (Cho & Kim, 2019).

Kabupaten Semarang berbatasan langsung dengan Kota Semarang di Utara; Kabupaten Demak dan Kabupaten Grobogan di Timur; Kabupaten Boyolali di Timur dan Selatan; serta Kabupaten Magelang, Kabupaten Temanggung, dan Kabupaten Kendal di Barat. Kabupaten Semarang merupakan salah satu daerah yang berpotensi menghasilkan biomassa dari limbah di sektor pertanian. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Semarang Tahun 2023, 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 Pabelan. Kecamatan Pabelan memiliki luas area 47,98 km² dengan kepadatan penduduk 951 jiwa per km². Kecamatan Pabelan memiliki lahan pertanian sebesar 4.950,1 Ha dengan total produksi tanaman padi sebesar 29.451,5 Ton (BPS Kabupaten Semarang, 2023). 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 sehingga berpotensi mencemari lingkungan. 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 (CH₄) merupakan komponen utama dari biogas yang berguna dan memiliki nilai kalor sebesar 20 MJ/m³ (Sutarno & Feris Firdaus, 2007). Maka, pemanfaatan limbah pertanian berupa sekam padi menjadi biogas merupakan salah satu solusi untuk mengurangi tumpukan limbah sekam padi yang berpotensi menimbulkan pencemaran serta memiliki potensi besar untuk menggantikan bahan bakar fosil dengan energi baru dan energi terbarukan.

Biogas adalah gas yang mudah terbakar (*flammable*) yang dihasilkan dari proses fermentasi (pembusukan) bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerob (bakteri yang hidup dalam kondisi tanpa oksigen yang ada dalam udara). Biogas diproduksi dari sumber energi yang dapat diperbaharui (Al Saedi *et al.*, 2008). 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) (Suryaning Saputri & Dwi Nugraha, 2017). Berdasarkan penjelasan di atas, tugas akhir ini membahas mengenai Perencanaan Instalasi Produksi Biogas dengan Metode *Liquid Anaerobic Digestion* (L-AD) Berbahan Baku Limbah Sekam Padi di Kecamatan Pabelan, Kabupaten Semarang untuk memperoleh kondisi optimum produksi biogas yang dapat dimanfaatkan masyarakat sekitar sebagai solusi untuk mendukung Kebijakan Energi Nasional dalam menghasilkan energi baru dan energi terbarukan.

1.2 Identifikasi Masalah

1. Terdapat aktivitas pertanian yang menghasilkan timbunan limbah sekam padi di Kecamatan Pabelan, Kabupaten Semarang.
2. Kabupaten Semarang menghasilkan limbah pertanian dalam jumlah banyak yaitu sekam padi yang belum dimanfaatkan secara optimal. Pada sisi lain, limbah tersebut berpotensi untuk dimanfaatkan menjadi sumber energi berdasarkan penelitian terdahulu.
3. 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.
4. Kondisi operasional dari instalasi produksi biogas dalam skala pelayanan kecamatan belum diketahui.

1.3 Rumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian yang diajukan adalah :

1. Bagaimana kondisi eksisting pengelolaan limbah sekam padi di Kecamatan Pabelan, Kabupaten Semarang?

2. Bagaimana kondisi optimum produksi biogas dari limbah sekam padi dengan metode L-AD di Kecamatan Pabelan, Kabupaten Semarang?
3. Bagaimana perencanaan produksi biogas dengan metode L-AD Kecamatan Pabelan, Kabupaten Semarang?
4. Berapa rencana anggaran biaya instalasi produksi biogas dengan metode L-AD Kecamatan Pabelan, Kabupaten Semarang?
5. Bagaimana analisis kelayakan ekonomi, teknis, dan lingkungan dari produksi biogas di Kecamatan Pabelan, Kabupaten Semarang?

1.4 Rumusan Tujuan

Perencanaan ini memiliki tujuan yaitu :

1. Menganalisis kondisi eksisting pengelolaan limbah sekam padi di Kecamatan Pabelan, Kabupaten Semarang.
2. Menganalisis kondisi optimum produksi biogas dari limbah sekam padi dengan metode L-AD di Kecamatan Pabelan, Kabupaten Semarang.
3. Merencanakan *Instalasi biogas* berbahan baku sekam padi dengan metode L-AD di Kecamatan Pabelan, Kabupaten Semarang
4. Menentukan rencana anggaran biaya instalasi produksi biogas dengan metode L-AD di Kecamatan Pabelan, Kabupaten Semarang
5. Menganalisis kelayakan dari segi ekonomi, teknis, dan lingkungan dari instalasi produksi biogas di Kecamatan Pabelan, Kabupaten Semarang.

1.5 Pembatasan Masalah

Perencanaan ini mempunyai ruang lingkup sebagai berikut :

1. Batasan studi yang diteliti pada tugas akhir yaitu pada sektor pertanian di Kecamatan Pabelan, Kabupaten Semarang
2. Limbah pertanian yang digunakan adalah sekam padi yang berasal dari Kecamatan Pabelan, Kabupaten Semarang
3. Perlakuan pendahuluan fisika grinding
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 Pabelan, Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah.

1.6 Rumusan Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari tugas akhir ini adalah:

1. Bagi IPTEK

Menjadi referensi gambaran terkait proses pemanfaatan limbah pertanian khususnya sekam padi sebagai sumber alternatif baru yaitu biogas yang dapat menggantikan bahan bakar fosil yang lebih ramah lingkungan

2. Bagi Pemerintah

Sebagai masukan untuk pemerintah kabupaten dalam perencanaan serta menentukan kebijakan strategi penurunan timbulan limbah pertanian.

3. Bagi Masyarakat

Menambah wawasan masyarakat mengenai pemanfaatan limbah pertanian sebagai sumber energi biogas dan mendorong partisipasi aktif dalam penurunan timbulan limbah pertanian berdasarkan strategi yang telah direncanakan.

4. Bagi Penulis

Menambah wawasan penulis terkait proses pengolahan sekam padi menjadi biogas, serta mendapatkan kondisi optimum produksi biogas dengan metode L-AD, dan dampak lingkungan ekonomi dan teknis dalam pengolahan sekam padi menjadi biogas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbassi-guendouz, A., Trably, E., Hamelin, J., Dumas, C., Steyer, J.P., Delgenès, J., Escudie, R. 2013. Microbial Community Signature of High-Solid Content Methanogenic Ecosystems. *Bioresource Technology*, 133, 256–262.
- Aji, K. P., dan Bambang, A. N. 2019. Konversi Energi Biogas Menjadi Energi Listrik Sebagai Alternati Energi Terbarukan dan Ramah Lingkungan di Desa Langse, Kecamatan Margorejo Kabupaten Pati. In *Prosiding SENTIKUIN (Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur)* (Vol. 2, pp. B4-1).
- Akwaka, J. C., Kukwa, D. T., & Mwekaven, S. S. (2014). Preliminary Study on Co-Digestion of Cow Manure with Pretreated Sawdust for Production of Biogas and Biofertilizer *International Journal of Science and Technology*, 3(4), 222-228
- Al Saedi, Rutz, D., Prassl, H., Kottner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., dkk., 2008. *Biogas*. University of Southern : Denmark
- Aminah, T.S. 2011. Potensi Hasil Samping Produksi Biogas dari Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dengan Penambahan Aktivator Kotoran Sapi Potong Sebagai Pupuk Organik. *Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan*. IPB. Bogor
- Amrillah, N.A.Z., Hanum, F.F., & Rahayu, A. (2022). Studi Efektivitas Metode Ekstraksi Selulosa dari Agricultural Waste. *Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ, Jakarta*, 26 Oktober 2022.
- Andayana, Y. (2014). Pembuatan Ethanol dari Jerami Padi Dengan Proses idrolisis dan Fermentasi. *Jurnal Teknik Kimia*, 8(2), 54-57.
- Anshar, M., Ani, F. N., & Kader, A. S. (2016). Electrical Energy Potential of Rice Husk As Fuel For Power Generation In Indonesia. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3616-3624.
- Appels, L., Lauwers, J., Degreve, J., Helsen, L., Lievens, B., Willems, K., Van Impe, J., & Dewil, R. (2011). Anaerobic digestion in global bio-energy production: Potential and research challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4295-4301. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.121>
- Arifiantari, P.N., Handajani, M., dan Sembiring, T. 2012. Pengaruh Rasio C/N Terhadap Degradasi Material Organik Dalam Sampah Pasar Secara Anaerob, <https://jujubandung.wordpress.com/2012/06/10/pengaruhrasio-cn-terhadap-degradasi-material-organik-dalam-sampah-pasar-secaraanaerob-2>.
- Asfar, A. M. I. A., Asfar, A. M. I. T., Thaha, S., Kurnia, A., Budianto, E., & Syaifullah, A. (2022). Pelatihan Transformasi Sekam Padi sebagai Biochar Alternatif. *Kumawula: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 5(1), 95-102.
- Awulu, J., Omale, P., & Ameh, J. (2018). Comparative Analysis of Calorific Values of Selected Agricultural Waste. *NIJOTECH*, Vol.37 No.4.
- BPS Kabupaten Semarang. (2021). Jumlah Kepala Keluarga Kecamatan Pabelan (jiwa), <https://sidukcapil.semarangkab.go.id>
- BPS Kabupaten Semarang. (2022). Kecamatan Pabelan Dalam Angka 2022.
- BPS Kabupaten Semarang. (2018). Kecamatan Pabelan Dalam Angka 2018.

- BPS Provinsi Jawa Tengah. (2022). Banyak Pemakaian Gas LPG Menurut Kabupaten/Kota di Jawa Tengah, <https://jateng.bps.go.id/>
- Bahar, Yul H., 1986, Teknologi Penanganan dan Pemanfaatan Sampah, PT. Wacana Utama Pramesti, Jakarta.
- Bessei, W. 2006. Welfare of broilers: A review. *Worlds Poult. Sci. J.* 62: 455-466.
- Bhupendra Koul, Mohammad Yakoob, Maulin P. Shah, 2022. Agricultural waste management strategies for environmental sustainability. *Environmental Research*. Volume 206
- Brown, D., Li, Y. 2013. Solid State Anaerobic Co-Digestion of Yard Waste and Food Waste for Biogas Production. *Bioresource Technology*, 127, 275–280.
- Bruni, E. (2010). Improved anaerobic digestion of energy crops and agricultural residues. In *Environmental engineering* (Issue June).
- Budiarto, H., Fitrah, A.M., & Tuhuloula, A. 2014. Pemanfaatan Sludge Hasil Produksi Biogas Berbasis Limbah Cair Latex menjadi Pupuk Kompos Cair. *Konversi*, Vol. 3 No. 1.
- Budiyono, Syaichurrozi, I., & Sumardiono, S. (2014). Effect of total solid content to biogas production rate from vinasse. *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*, 27(2), 177-184. <https://doi.org/10.5829/idosi.ije.2014.27.02b.02>
- Chandra, R., Takeuchi, H., Hasegawa, T., & Kumar, R. (2012). Improving biodegradability and biogas production of wheat straw substrates using sodium hydroxide and hydrothermal pretreatments. *Energy*, 43(1), 273-282.
- Chen, X., Yan, W., Sheng, K., Sanati, M. 2014. Comparison of High-Solids to Liquid Anaerobic Co-Digestion of Food Waste and Green Waste. *Bioresource Technology*, 154, 215–221.
- 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>
- Deublein, D., & Steinhauser, A. (2008). *Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction* (2nd ed.). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. <https://doi.org/10.1002/9783527621705>
- Dewan Energi Nasional. (2019). *ENERGI INDONESIA 2019 SEKRETARIAT JENDERAL DEWAN ENERGI NASIONAL*.
- Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan Dan Konservasi Energi, 2013, *Kebijakan Bioenergi di Indonesia*
- Faizal, M., Saputra, M., dan Zainal, F. A. (2015). Pembuatan Briket Bioarang Dari Campuran Batubara dan Biomassa Sekam Padi dan Eceng Gondok. *Jurnal Teknik Kimia*, 21(4), 27-38
- 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.
- Fitria, B., 2009, “Biogas” <http://biobakteri.wordpress.com/2009/06/07/8-biogas>
- Garcês, A., S. M. S. Afonso, A. Chilundo, and C. T. S. Jairoce. 2013. Evaluation of different litter materials for broiler production in a hot and humid

- environment: 1. Litter characteristics and quality. *J. Appl. Poult. Res.* 22: 168-176.
- Glushankova, I., Ketov, A., Krasnovskikh, M., Rudakova, L., & Vaaisman, I. (2018). Rice hulls as a renewable complex material resource. *Resources*, 7(2), 1-11. <https://doi.org/10.3390/resources7020031>
- H. Murtiyaningsih and M. Hazmi, "Isolasi dan uji aktivitas enzim selulase pada bakteri selulolitik asal tanah sampah," *Agritrop J. Ilmu Ilmu Pertan.* (Journal Agric. Sci., vol. 15, no. 2, 2017.
- Hananta, R. 2016. Makalah Abu Sekam Padi dan Manfaatnya,
- Harold, B. G. (1965), *Composting*. World Health Organization. Geneva. Haug. R. Haryadi. 2006. *Teknologi Pengolahan Beras*. Yogyakarta (ID): Gadjah Mada University Press
- Hendriks, A. T. W. M., & Zeeman, G. (2009). Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, 100(1), 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.05.027>
- Herawati, D.A., & Wibawa, A.A. 2010. Pengaruh Pretreatment Jerami Padi Pada Produksi Biogas dari Jerami Padi dan Sampah Sayur Sawi Hijau Secara Batch. *Jurnal Rekayasa Proses*. Vol. 4, no 1.
- Hidayatulloh, A. W., dan E. W. Prabowo, 2011. Mikroorganisme *Azotobacter Chroococcum* dan *Bacillus Megaterium* Terhadap Pembuatan Kompos Limbah Padat Digester Biogas dari Enceng Gondok (*Eichornia Crassipes*). *Teknik Kimia*, ITS, Surabaya
- 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. *Environ. Int.*, 144, pp.106018.
- Huang, Xiaoxia; Stürz, Michael; Gohl, Karsten; Knorr, Gregor; Lohmann, Gerrit (2017): Climate model results of various COSMOS Miocene experiments in NetCDF format. PANGAEA,
- Husnan, S dan Suwarsono. 2000. *Studi Kelayakan Proyek: Konsep, Teknik dan Penyusunan Laporan*. BPFE, Jakarta.
- 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.
- Jawab, P., Bptp, K., Barat, J., Yanto, P. :, Nana, S., Basuno, S., Balai, S., Teknologi Pertanian (bptp, P., Jawa,), Balai, B., Pengkajian, B., Pengembangan, D., Pertanian, T., Penelitian, B., & Kementerian Pertanian, P. (n.d.). *Cara membuat ARANG SEKAM PADI*.
- Jha, A. K., Li, J., Nies, L., & Zhang, L. (2011). Research advances in dry anaerobic digestion process of solid organic wastes. *African Journal of Biotechnology*, 10(65), 14242-14253. <https://doi.org/10.5897/ajb11.1277>
- Kabir, M. M., Castillo, M. D. P., Taherzadeh, M. J., & Horváth, I. S. (2013). Effect of the N-methylmorpholine-N-oxide (NMMO) pretreatment on anaerobic digestion of forest residues. *BioResources*, 8(4), 5409-5423.

- Kangle, K.M., Kore, S.V, Kore, V.S., and Kulkarni, G.S. 2012. Recent Trends In Anaerobic Codigestion: A Review. *Universal Journal of Environmental Research and Technology*, 2(4), 210–219
- Kartika D. 2016. Peningkatan Ketersediaan Fosfor (P) Dalam Tanah Akibat Penambahan Arang Sekam Padi Dan Analisisnya Secara Spektrofotometri. Universitas Jember. Jawa Timur.
- Karyaningsih S. 2012. Pemanfaatan limbah pertanian untuk mendukung peningkatan kualitas lahan dan produktivitas padi sawah. *Jurnal Buana Sains*. 12(2): 45–52.
- Kasisira, L.L., N.D. Muiyia, 2009. Assessment of the effect of mixing pig and cow dung on biogas yield. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript PM 1329, XI, pp. 1-7.
- Kecamatan Pabelan Dalam Angka 2023 BADAN PUSAT STATISTIK KABUPATEN SEMARANG BPS-STATISTICS OF SEMARANG REGENCY.*
- Kindangen, P., Rotinsulu, T. O., & Murni, S. (2017). Human Resource Quality and Household Income in North Sulawesi, Indonesia. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND ECONOMIC DEVELOPMENT*, 3(1), 26–37. <https://doi.org/10.18775/ijied.1849-7551-7020.2015.35.2002>
- Koul, B.; Yakoob, M.; Shah, M.P. Agricultural waste management strategies for environmental sustainability. *Environ. Res.* 2022, 206, 112285.
- Lampiran II Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia No 5 tahun 2022 Tentang Petunjuk Operasional Pengelolaan Dana Alokasi Khusus Fisik Infrastruktur Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Li, Y., Park, S.Y., Zhu, J. 2011a. Solid-State Anaerobic Digestion for Methane Production from Organic Waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 821–826
- Liew, L.N., Shi, J., Li, Y. 2012. Methane Production from Solid-State Anaerobic Digestion of Lignocellulosic Biomass. *Biomass and Bioenergy*, 46, 125–132.
- Mate, J. (2018). *The Determinants of Carbon Footprint: Role of Agriculture.*
- Matin, H.H.A., and Hadiyanto. *Optimization of Biogas Production From Rice Husk Waste by Solid State Anaerobic Digestion (SSAD) Using Response Surface Methodology.*
- Motte, J.-C, Escudié, R., Bernet, N., Delgenes, J.-P, Steyer, J.-P, Dumas, C. 2013. *Dynamic Effect of Total Solid Content, Low Substrate/Inoculum Ratio and Particle Size On Solid-State Anaerobic Digestion.* *Bioresource Technology*, 144, 141–148.
- Mulder, M. (1996). *Basic Principles of Membrane Technology* (2nd ed.). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-1766-8>
- Ndrah N. 2009. Uji komposisi bahan baku briket bioarang tempurung kelapa serbuk kayu terhadap mutu yang dihasilkan. Sumatera Utara: USU.
- Nguyen, V.C.N. *et al.* 2020. Sustainable Rice Straw Management. Springer Open. Switzerland. Chapter 5 Page 72-73.
- Nopharatana A., Pullammanappallil P.C. and Clarke W.P. 2007. Kinetic And Dynamic Modelling of Batch Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste In A Stirred Reactor. *Waste Management*. 27: 595-603.

- Novia., Wijayanti, D., & Yanti, P. (2017). Pengaruh Waktu Delignifikasi Terhadap Lignin dan Waktu SSF Terhadap Etanol Pembuatan Bioetanol dari Sekam Padi. *Jurnal Teknik Kimia*, 1(23), 19-27.
- Nugraha, W.D., Syafrudin, Kusumastuti, V.N., Matin, H.H.A., Budiyo, 2020. Optimization of Biogas Production in Indonesian Region by Liquid Anaerobic Digestion (L-AD) Method from Rice Husk Using Response Surface Methodology (RSM). *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, 845, pp.012042.
- Nuryadin H, 2011, Perbandingan Kuantitas Dan Kualitas Biogas Yang Dihasilkan Dari Kotoran Kuda, Kotoran Kerbau Dan Kotoran Sapi Dengan Menggunakan Biotank Proses, Universitas Mataram, Mataram.
- 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.
- Oluwoye, I., Altarawneh, M., Gore, J., & Dlugogorski, B.Z., 2020. Products of Incomplete Combustion from Biomass Reburning. *Fuel*, 274
- Padmono, D. 2007. Kemampuan Alkalinitas Kapasitas Penyangga (Buffer Capacity) Dalam Sistem Anaerobik Fixed Bed, 8(2), 119-127..
- 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, 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. *Majalah Ilmiah Peternakan*, 21(2), 51-55.
- Pertiwiningrum Ambar (2016), Instalasi Biogas, Cetakan Pertama, Yogyakarta, CV.
- Petersson, A., Thomsen, M. H., Hauggaard-Nielsen, H., & Thomsen, A. B. (2007). Potential bioethanol and biogas production using lignocellulosic biomass from winter rye, oilseed rape and faba bean. *Biomass and Bioenergy*, 31(11-12), 812-819. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.06.001>
- Pramana, A., Razak, A.R., & Prismawiryanti. (2016). Hidrolisis Selulosa dari Sekam Padi (*Oryza Sativa*) Menjadi Glukosa dengan Katalis Arang Tersulfonasi. *KOVALEN*, 2(3), 61-66
- Prihatiningtyas, S., Si, S., Pd Fatikhatun, M., Sholihah, N., Pd, S., Pd Meriana, M., & Nugroho, W. (2019). *BIODIGESTER UNTUK BIOGAS*.
- Primadita, D., Kumara, I., & Ariastina, W. (2020). A Review on Biomass For Electricity. *Journal of Electrical, Electronics and Informatics*, Vol 4 no.1.
- Pujotomo, I. (2017). *POTENSI PEMANFAATAN BIOMASSA SEKAM PADI UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK MELALUI TEKNOLOGI GASIFIKASI* (Vol. 9, Issue 2).
- 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*, 149, 232-237.
- Sahirman, S., Irawadi, Said, E. G., & Basith, A. (1995). KAJAN PEMANFAATAN LIMBAH PABRIK KELAPA SAWIT UNTUK PRODUKSI GAS BIO. *Forum Pascasarjana*, 18(1), 25-34.

- Sandilands, V., and P.M. Hocking. 2012. *Alternative Systems for Poultry: Health, Welfare and Productivity*; Centre for Agriculture and Bioscience: Oxfordshire, UK.
- Santo RF, Nuraeni S, Rochiyat. 2010. *Potensi Sekam Sebagai Bahan Alternatif yang Dapat Dipakai Berulang-ulang*. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Sapei, L, Robert Noeske, Peter Strauch, Oskar Paris (2008) 'Isolation of Mesoporous Biogenic Silica from the Perennial Plant *Equisetum hyemale*', *Chem. Mater.*, Vol 20, pp. 2020-2025.
- Saragih, B. R. 2010. *Analisis Potensi Biogas untuk Menghasilkan Energi Listrik dan Termal pada Gedung Komersil di Daerah Perkotaan (Studi Kasus Pada Mal Metropolitan Bekasi)*. Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Sari, F. and Budiyono, B. (2014). *Enhanced Biogas Production from Rice Straw with Various Pretreatment : A Review*. *Waste Technology*, 2(1), 17-25.
- Schimpf, U., Hanreich, A., Mähnert, P., Unmack, T., Junne, S., Renpenning, J., Lopez-ulibbarri, R. 2013. *Improving The Efficiency of Large-Scale Biogas Processes : Pectinolytic Enzymes Accelerate the Lignocellulose Degradation*. *Journal of Sustainable Energy & Environment*, 4, 53–6
- Schtirer, A., & Jarvis, A. (2010), *Microbiological Handbook for Instalasi Biogas*. Silvikultur Tropika, J., & Fiona, F. (n.d.). *Supriyanto dan Fidryaningsih Fiona Pemanfaatan Arang Sekam untuk Memperbaiki Pertumbuhan Semai Jabon (*Anthocephalus cadamba* (Roxb.) Miq) pada Media Subsoil Utilization of Rice-Hush Charcoal to Improve Growth of Jabon Seedlings (*Anthocephalus cadamba* (Roxb.) Miq) on Subsoil Media*.
- Simamora, S. et al. 2006. *Membuat Biogas Pengganti Bahan Bakar Minyak Dan Gas Dari Kotoran Ternak*. Jakarta: Agro Media Pustaka.
- Singh, M., & Kushwaha, M. (2022). *2021 @ IJA-Nutrient content, uptake and NUE of oats (2) Article in Indian Journal of Agronomy*.
<https://www.researchgate.net/publication/359025271>
- SNI 19-2454-2002 tentang Tata Cara Teknik Operasional Pengelolaan Sampah Perkotaan
- SNI 19-3964-1995 tentang Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan
- Suharno, 1979, *Komposisi Kimia Sekam Padi*, di dalam: Sigit Nugraha dan Jetty Setiawati, 2001, *Peluang Agribisnis Arang Sekam*, Badan Penelitian Pascapanen Pertanian, Jakarta
- 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, pp.202–206.
- Suryaning Saputri, E., & Dwi Nugraha, W. (2017). *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 dan Feris Firdaus. 2007. Analisis Prestasi Produksi Biogas (CH₄) dari Polyethilene Biodigester Berbahan Baku Limbah Ternak Sapi. *Logika*. Vol. 4:1
- Sutarno, & Feris Firdaus. (2007). *Analisis Prestasi Produksi Biogas (CH₄) dari Polyethilene Biodigester Berbahan Baku Limbah Ternak Sapi.: Vol. 4:1*. Logika.
- Suyitno, Sujono Agus, Dharmanto (2010), *Teknologi Biogas*, Cetakan Pertama, Yogyakarta
- Suzuki, K., Takeshi, W. & Vo Lam. 2001. Concentration and Crisalization of Phosphate, Ammonium and Minerals on The Effluent of Bio-Gas Digester In The Mekong Deltha, Vietnam. Jircan and Cantho University, Cantho Vietnam. *Japan Agriculture Research Quarter* 32 (4), 271-276.
- Swedish Waste Management and Swedish Gas Centre Report.
- Syafrudin, Nugraha, W.D., Agnesia, S.S., Matin, H.H.A., and Budiyo. 2018. Enhancement of Biogas Production from Rice Husk by NaOH and Enzyme Pretreatment. *E3S Web of Conferences* 31, 02002
- Syafrudin, Nugraha, W.D., Matin, H.H.A., and Budiyo. 2017a. The Effect of Enzymatic Pretreatment and C/N Ratio to Biogas Production from Rice Husk Waste during Solid State Anaerobic Digestion (SS-AD). *MATEC Web of Conferences* 101, 02016.
- T. 1962. *Compost Engineering. Principle and Practice*.
- Taherzadeh, M. J., & Karimi, K. (2008). Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: A review. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 9, Issue 9). <https://doi.org/10.3390/ijms9091621>
- Teghammar, A., Karimi, K., Sárvári Horváth, I., & Taherzadeh, M. J. (2012). Enhanced biogas production from rice straw, triticale straw and softwood spruce by NMMO pretreatment. *Biomass and Bioenergy*, 36, 116-120. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.10.019>
- Toscano, G., Ausiello, A., Micoli, L., Zuccaro, G. 2013. Anaerobic Digestion of Residual Lignocellulosic Materials to Biogas and Biohydrogen. *Chemical Engineering Transactions*, 32, 487–492.
- Undang-Undang nomor 41 tahun 2009 tentang Perlindungan Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah
- Utami, F.P, 2013, Sintesis dan karakterisasi zeolit 4A dari abu sekam padi sebagai penyerap logam berat timbal dan tembaga, Universitas Medan, Medan.
- Utomo P, Yunita I. 2014. Sintesis Zeolit dari Abu Sekam Padi Pada Temperatur Kamar. Yogyakarta (ID): Universitas Negeri Yogyakarta.
- Vesilind, P. A., J. J. Pierce & R. F. Weiner. 1990. *Environmental Pollution and Control*. Butterworth-Heinemann, Boston.
- Wahyono, E. H., dan N, Sudarno. 2012. *Biogas : Energi Ramah Lingkungan*. Yapeka : Bogor. 50 Hlm.
- Wahyuni Sri. 2017, *Biogas Hemat Energi Pengganti Listrik, BBM, dan Gas Rumah Tangga*, Cetakan Pertama, Jakarta, PT. Agro Media Pustaka

- Wahyuni, S. 2011. Biogas Energi Terbarukan Ramah Lingkungan dan Berkelanjutan. Kongres Ilmu Pengetahuan Nasional (KIPNAS) ke 10. Jakarta
- Wang, D., Ai, P., Yu, L., Tan, Z., Zhang, Y., 2015. Comparing the Hydrolysis and Biogas Production Performance of Alkali and Acid Pretreatment of Rice Straw using Two-Stage Anaerobic Fermentation. *Biosystems Engineering*, 132, 47-55.
- Weiland, P. 2010. Biogas Production: Current State and Perspectives. *Appl Microbiol Biotechnol*, 85, 849–860.
- 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 Mengabdi* 12, 2, 84–86.
- Wulandari, S., Imam Mahadi, & Edri Yandi. (2016). Pengelolaan Limbah Menggunakan Sampah Organik Dengan Starter Cairan Isi Rumen Sapi Untuk Bahan Baku Biogas Sebagai Pengayaan Modul Biologi Smk Pertanian Konsep Pengelolaan Limbah. *Jurnal Biogenesis* Vol. 13 (1): 35 – 44
- Yalçın, N., dan Sevinç, V., (2001), Studies on Silica Obtained from Rice Husk, *Ceramic International*, Vol. 27, hal. 219-224.
- Yuniarsih, E. T. dan M. B. Nappu. 2013. Pemanfaatan limbah jagung sebagai pakan ternak di sulawesi selatan. *Prosiding. Seminar Nasional Serealia*, hlm 329-338.
- Zeshan, 2012. Dry Anerobic Digestion of Munipical Solid Waste and Digestate Management Strategies. Asian Institute of Technology, School of Environment, Resources and Development.
- Zheng, Y., Zhao, J., Xu, F., & Li, Y. (2014). Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas production. *Progress in Energy and Combustion Science*, 42(1), 35-53. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2014.01.001>
- Zhong, W., Zhang, Z., Luo, Y., Sun, S., Qiao, W., & Xiao, M. (2011). Effect of biological pretreatments in enhancing corn straw biogas production. *Bioresource Technology*, 102(24), 11177-11182.