

Studi Eksperimental Pengaruh Karbon Aktif Terhadap Penyimpanan Biogas

Epenetus Rapael, Made Sucipta, dan Hendra Wijaksana
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Penyimpanan biogas dengan kantong plastik yang dilakukan petani simantri di Bali dinilai tidak efektif karena plastik tidak mampu menahan tekanan tinggi sehingga kapasitas penyimpanannya kurang. Teknologi Adsorbed Natural Gas dipilih untuk menyimpan biogas dalam tabung bertekanan lebih tinggi dengan kapasitas yang lebih besar dengan menggunakan adsorben berupa karbon aktif dengan permukaan yang sangat luas. Sehingga biogas terjebak pada permukaan dalam tabung dan pada pori-pori karbon aktif. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan 3 proses utama yaitu proses karbonisasi pada temperatur 525°C diaktivasi pada temperatur 425°C dengan proses aktivasi uap dan uji penyimpanan biogas. Karbon aktif yang digunakan berukuran mesh 70-230, laju alir uap 100 g/min dengan tekanan dalam boiler 90 psi dan suhu 160°C. Selama proses aktivasi, pada saat mencapai temperatur 425°C, kemudian ditahan selama 2 jam. Tabung penyimpanan biogas berisi karbon aktif sebanyak 15 gram dibandingkan dengan tabung penyimpanan tanpa karbon aktif. Hasilnya, penyimpanan biogas dengan tabung berisi karbon aktif mampu menyimpan biogas lebih banyak dengan massa 35,2 gram dibandingkan dengan tabung tanpa karbon aktif yaitu hanya 30,9 gram.

Kata kunci: Karbon aktif, biogas, Adsorbed Natural Gas, penyimpanan biogas, aktivasi uap

Abstract

Biogas storage in plastic bags by Simantri farmers in Bali is considered ineffective because plastic is not able to withstand high pressure so the storage capacity is lacking. Adsorbed Natural Gas technology was chosen to store biogas in a higher pressure cylinder with a larger capacity using an adsorbent in the form of activated carbon with a very large surface area. So that the biogas is trapped on the inner surface of the tube and in the pores of the activated carbon. The research was carried out experimentally with 3 main processes, namely the carbonization process at a temperature of 525°C activated at a temperature of 425°C by a steam activation process and the biogas storage test. The activated carbon used has a mesh size of 70-230, a steam flow rate of 100 g/min with a pressure in the boiler of 90 psi and a temperature of 160°C. During the activation process, when it reaches a temperature of 425°C, it is then held for 2 hours. The biogas storage tube contains 15 grams of activated carbon compared to the storage tube without activated carbon. As a result, biogas storage in tubes filled with activated carbon is able to store more biogas with a mass of 35.2 grams compared to tubes without activated carbon, which is only 30.9 grams.

Keywords: Activated carbon, biogas, Adsorbed Natural Gas, biogas storage, steam activation

1. Pendahuluan

Di beberapa daerah di Bali, biogas dihasilkan dengan mengolah bahan baku organik kemudian hasilnya dimanfaatkan para petani untuk kebutuhan sehari-hari. Namun, kendala yang dihadapi adalah penyimpanan biogas menggunakan plastik tidak efisien dan tidak mampu menyimpan gas bertekanan tinggi. Solusi yang ditempuh yaitu dengan menerapkan teknologi *Absorbed Natural Gas* (ANG). Teknologi ini dapat menyimpan biogas dalam sebuah tabung dengan kapasitas yang lebih banyak dan dengan tekanan yang tinggi. Tabung di isi material berpori dan memiliki sifat adsorben/menyerap serta luas permukaan yang luas dibandingkan dengan volumenya. Teknologi ANG dengan adsorben karbon aktif berpotensi untuk dijadikan metode penyimpanan gas [1].

Karbon aktif adalah salah satu bahan yang bisa dijadikan adsorben pada teknologi ANG. Bahan baku karbon aktif dapat bersumber dari material organik dan anorganik. Bahan organik lebih umum digunakan oleh para petani karena limbah organik diperoleh dari pertanian, yaitu limbah hewan ternak maupun limbah

organik tanaman. Bambu adalah salah satu limbah material organik tanaman yang berpotensi dijadikan bahan manufaktur karbon aktif.

Karbon aktif berbahan dasar bambu memiliki karakteristik permukaan dan sifat porositas yang baik sehingga menunjukkan bahwa bambu berpotensi dijadikan bahan baku utama produksi karbon aktif [2]. Karbon aktif dari bambu juga digunakan untuk membuat elektroda superkapasitor [3]. Hasil menunjukkan bahwa kualitas tinggi karbon aktif berbasis bambu berpotensi dimanfaatkan dalam pembuatan elektroda superkapasitor. Yang terbaru, respirator untuk anak didesain dengan mengombinasikan karbon aktif berbasis bambu dengan prefilter N95 dan filter HEPA sebagai sistem filtrasi [4]. Kombinasi dari sistem filtrasi ini dapat menyaring partikel kecil. Bambu apus tidak hanya berpotensi dijadikan karbon aktif, tetapi juga bisa digunakan sebagai sumber energi untuk aplikasi [5].

Proses adsorpsi menggunakan karbon aktif merupakan metode berpotensi besar untuk penyimpanan biogas. Karbon aktif telah digunakan sebagai adsorben dalam penyimpanan gas alam

karena memiliki daya serap yang tinggi. Struktur karbon aktif yang halus dan berpori serta luas permukaan partikel yang sangat besar ($>1000 \text{ m}^2/\text{g}$) menghasilkan sifat adsorben yang kuat [6].

Kualitas karbon aktif sangat bergantung pada sifat dan proses pembuatan karbon aktif. Persiapan karbon aktif biasanya terdiri dari dua langkah, yaitu karbonisasi dan aktivasi. Proses karbonisasi menghilangkan unsur-unsur non-karbon, seperti hidrogen dan oksigen, dalam bentuk gas yang mudah menguap melalui dekomposisi pirolitik yang hanya menghasilkan struktur karbon rudimenter dengan massa tetap. Kemudian dilanjutkan dengan proses aktivasi untuk memperbesar diameter pori dan juga untuk membuat pori baru sehingga meningkatkan sifat adsorpsi arang [7].

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk melihat pengaruh temperatur karbonisasi. Temperatur karbonisasi yang semakin tinggi akan menurunkan nilai bilangan Iodin. Tidak hanya itu, luas permukaan aktif, dan kapasitas dari karbon aktif akan menurun [8]. Karakteristik CPH (*Capillary Pumping Head*) diteliti dengan memvariasikan temperatur karbonisasi [9]. Nilai CPH tertinggi diperoleh pada temperature 500°C sehingga berpotensi besar untuk dijadikan material *pad* pada *direct evaporating cooling*.

Pembuatan karbon aktif dari bambu dimana uap air atau *steam* dan nitrogen digunakan pada proses aktivasi sudah dilakukan [10]. Hasilnya nitrogen tidak berpengaruh pada proses aktivasi dan tidak memperluas rongga karbon aktif. Oleh karena itu, penelitian ini hanya menggunakan uap air sebagai aktivator dalam proses aktivasi karbon aktif.

Pada penelitian ini, pengaruh karbon aktif terhadap penyimpanan biogas dengan tabung berisi karbon aktif dan tabung tanpa karbon aktif akan dilihat. Untuk mengetahui penyimpanan yang terbaik, jumlah massa biogas yang dapat dimanfaatkan setelah dilakukan pengujian penyimpanan biogas akan dibandingkan tiap sampel. Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi untuk pengembangan alat untuk penyimpanan biogas.

2. Dasar Teori

2.1. Karbon Aktif

Karbon aktif terbuat dari senyawa berbahan dasar organik yang mengandung unsur karbon/arang yang telah diolah secara khusus untuk mencapai daya adsorpsi yang tinggi. Tergantung pada ukuran pori dan luas permukaan, karbon aktif mampu menyerap bermacam-macam gas dan senyawa kimia [11]. Kemampuan penyerapan karbon aktif sangat tinggi, berkisar antara 25% sampai 100% dari massa karbon aktif. Karbon aktif memiliki diameter pori-pori 200 \AA , berbentuk butiran atau pelet dan diaplikasikan pada pemulihan pelarut, katalis, dan pemurnian gas.

2.2. Adsorbed Natural Gas (ANG)

Pada ANG, digunakan tabung berisi adsorben untuk menyimpan gas. Berdasarkan cara kerja

adsorpsi, adsorbat yaitu gas, terjerat dalam pori adsorben yaitu karbon aktif. Ini disebabkan gaya oleh van der Waals, yaitu gaya tarik pada permukaan pori adsorben. Pada pori adsorben saat tekanan dan temperatur yang konstan, molekul-molekul gas saling berhimpit. Ini menyebabkan gas berubah menjadi pseudo-liquid atau mendekati jenuh. Dengan begitu gas dapat disimpan dalam densitas energi yang lebih tinggi [12].

2.3. Karbonisasi

Karbonisasi adalah proses untuk menghasilkan arang dengan memanaskan biomassa padat pada temperatur antara $400\text{-}600^\circ\text{C}$. Selama proses karbonisasi pada bahan mentah, sebagian besar unsur nonkarbon yang mudah menguap seperti oksigen, hidrogen, dan nitrogen dihilangkan oleh dekomposisi pirolitik. Residu atom karbon dasar berubah bentuk menjadi tumpukan lembaran aromatik datar yang saling terkait secara acak. Lembaran aromatik ini tersusun tidak beraturan, yang menyisakan celah bebas. Celah ini memunculkan pori-pori, yang membuat karbon aktif menjadi penyerap yang sangat baik [11].

2.4. Aktivasi Fisika

Dalam aktivasi fisika, digunakan panas, uap atau CO_2 untuk memutuskan rantai karbon dari senyawa organik. Pori arang ikut mengembang sehingga menambah luas permukaannya. Selain itu gas-gas ini menghilangkan unsur yang mudah menguap serta hidrokarbon pengotor yang menutup pori-pori pada arang yang dihasilkan saat proses karbonisasi [13]. Aktivasi fisika dilakukan untuk meningkatkan volume dan memperluas diameter pori yang terbentuk saat proses karbonisasi. Pori-pori baru juga dapat terbentuk pada proses aktivasi fisika.

3. Metode Penelitian

3.1 Variabel Penelitian

1. Variabel bebas yaitu temperatur karbonisasi 525°C dan temperatur aktivasi 425°C .
2. Variabel terikat yaitu massa penyimpanan biogas.
3. Variabel kontrol yaitu:
 - a. Ukuran mesh 70-230.
 - b. Laju alir massa uap 100 g/min .
 - c. Tekanan dan suhu uap dalam boiler masing-masing 90 psi dan 160°C .

3.2 Alat dan Bahan

A. Alat

1. Kompresor
2. Reaktor
3. MCB 32 A
4. Saringan *mesh*
5. Pompa vakum
6. Tabung penyimpanan
7. Boiler
8. Thermocontroller
9. Timbangan digital

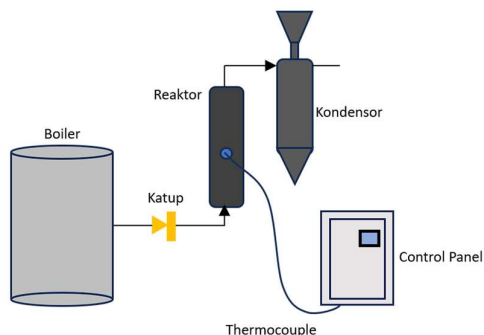
10. *Thermocouple*
11. *Thermometer uap*
12. *MCB 32 A Heater*
13. *Kontaktor 32 A*
14. *Kantong plastik*
15. *Manifold*
16. *Selang uap*
17. *Kondensor*
18. *Pressure gauge*
19. *Plat Orifice*

B. Bahan

1. Bambu
2. Biogas
3. Air

3.3 Pembuatan Karbon Aktif

Gambar 1 menunjukkan alat untuk membuat karbon aktif.



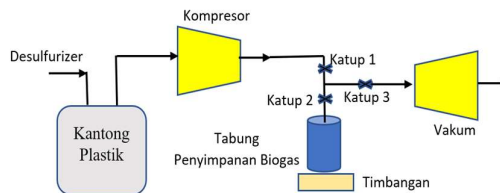
Gambar 1. Skematik alat *pure steam activation*

Bahan bambu dipotong menjadi bentuk persegi panjang kecil selanjutnya di oven untuk menghilangkan kadar uap air. Bambu sebanyak 900 gram di masukkan ke dalam reaktor untuk dikarbonisasi. Setelah dikarbonisasi, karbon di aktivasi dengan dengan cara dialirkan uap di dalam reaktor.

3.4 Uji Penyimpanan Biogas

Berikut adalah Langkah-langkah menguji penyimpanan biogas.

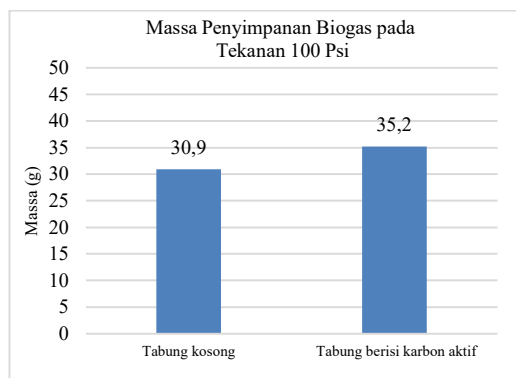
1. Karbon aktif yang sudah ditimbang dengan timbangan digital dimasukkan kedalam tabung.
2. Tabung diletakkan di atas timbangan kemudian divakum menggunakan pompa vakum hingga mencapai tekanan -20 psi.
3. Biogas dari kantong plastik kemudian di alirkan ke dalam tabung menggunakan kompresor dan selang manifold.
4. Massa dicatat saat tekanan mencapai 100 psi.
5. Biogas dan karbon aktif dikeluarkan lalu tabung dibersihkan.
6. Lakukan langkah 2-5 untuk penyimpanan dengan tabung kosong.



Gambar 2. Skema tahap penyimpanan biogas

4. Hasil dan Pembahasan

Perbandingan massa penyimpanan biogas dapat dilihat pada Gambar 3. Tabung kosong memiliki massa lebih sedikit yaitu 30,9 gram. Sedangkan penyimpanan biogas dengan tabung berisi karbon aktif mencapai massa penyimpanan sebanyak 35,2 gram.



Gambar 3. Hasil pengujian

Berdasarkan hasil di atas, dapat disimpulkan bahwa tabung berisi karbon aktif berhasil dalam menambah kapasitas penyimpanan biogas dibandingkan dengan tabung kosong. Hal ini dikarenakan tabung bersisi karbon aktif memiliki permukaan yang lebih luas dibandingkan dengan tabung kosong. Pori-pori pada karbon aktif yang sangat luas menjerat biogas dalam jumlah yang banyak. Ini dikenal dengan gaya van der Waals. Gaya ini menghasilkan energi yang memungkinkan terjadinya proses penyerapan molekul gas ke permukaan pori karbon aktif dan pada saat yang sama molekul gas termampatkan sehingga gas menjadi padat [14].

5. Kesimpulan

Penelitian untuk menganalisis pengaruh temperatur karbonisasi karbon aktif terhadap penyimpanan biogas telah dilakukan. Berdasarkan hasil yang didapat, dapat disimpulkan bahwa penyimpanan biogas dengan tabung berisi karbon

aktif mampu menyimpan biogas lebih banyak dengan massa 35,2 gram dibandingkan dengan tabung tanpa karbon aktif yaitu hanya 30,9 gram.

Daftar Pustaka

- [1] Negara, D.N.K.P., Nindhia T.G.T., Surata, I.W., Sucipta, M., 2016, *Development and Application of Bamboo Activated Carbons and Their Potency as Adsorbent Material for Adsorbed Natural Gas (ANG)*, Key Engineering Materials, (705), 126 – 130.
- [2] Mahanim, S., Asma, I. W., Rafidah, J., Puad, E., & Shahrudin, H., 2011, *Production of Activated Carbon from Industrial Bamboo Wastes*. Journal of Tropical Forest Science (45), 417-424. (Issue 4).
- [3] Tumimomor, F., Maddu, A., & Pari, G., 2017, *Pemanfaatan Karbon Aaktif dari Bambu sebagai Elektroda Superkapasitor*. Jurnal Ilmiah Sains, 1(17), 74-79.
- [4] Sucipta, M., Winata, I. M. P. A., Dewi, P. E., Sudarsana, P. B., & Larasati, M. S. P., 2023, *Development of respirator design for children using bamboo-based activated carbon filter and bipolar ionization*. Alexandria Engineering Journal, (63), 527-547. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.08.014>
- [5] Sucipta, M., Negara, D.N.K.P., Nindhia, T.G.T., Surata, I.W., 2017, *Characteristic of Ampel Bamboo as a Biomass Energy Source Potential in Bali*. Material Science and Engineering, 201 (1), 012032.
- [6] Tadda, M. A., Ahsan, A., Shitu, A., Elsergany, M., Arunkumar, T., Jose, B., Abdur Razzaque, M., & Nik Daud, N., 2016, *A review on activated carbon: process, application and prospects*. Journal of Advanced Civil Engineering Practice and Research, 1 (2), 7-13.
- [7] Hu, Z., Srinivasan, M. P., & Ni, Y., 2001, *Novel activation process for preparing highly microporous and mesoporous activated carbons*. Carbon, 39(6), 877-886. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S008-6223\(00\)00198-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S008-6223(00)00198-6)
- [8] Nurdiansah, H., Susanti, D., 2013, *Pengaruh Variasi Temperatur Karbonisasi dan Temperatur Aktivasi fisika dari elektroda karbon aktif Tempurung kelapa*. Jurnal Teknik Pomits, (2), 13-18.
- [9] Sitompul, I. D., Sucipta, M., & Wijaksana, H., 2021, *Studi Eksperimental Karakteristik Capillary Pumping Head pada Variasi Temperatur Karbonisasi Karbon Aktif Bambu Betung*. IPTEKMA, 1 (9), 1-10.
- [10] Wibawa, I. M. S., 2021, *Pembuatan Karbon Aktif Dengan Sistem Steam Activation Untuk Penyimpanan Biogas Dengan Variasi Diameter Karbon Aktif*, Skripsi Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bali.
- [11] Mammoria, D. C., 2016, *Pembuatan Karbon Aktif Dari Kulit Durian Sebagai Adsorben Zat Warna Dari Limbah Cair Tenun Songket Dengan Aktivator Naoh*, Pp 4-33.
- [12] Roop C. B., Meenakshi G., 2005, *Activated Carbon Adsorption*. CRC Press, Boca Raton.
- [13] Lusyana, 2018, *Spesifikasi Teknis Tabung ANG (Asorbed Natural Gas) untuk Sektor Rumah Tangga*. Lembaran Publikasi Minyak Dan Gas Bumi, (52), 113-120. <http://www.journal.lemigas.esdm.go.id>
- [14] Bansal R C., 1988, *Active Carbon*, Marcel Dekker, New York



Epenetus Rapael
menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2019 sampai 2023. Ia menyelesaikan studi program sarjana dengan topik penelitian konversi energi.