

Karakteristik Penyimpanan Biogas Menggunakan Karbon Aktif Tempurung Kelapa Dengan Variasi Waktu Aktivasi *Microwave*

I Gusti Agung Putu Denny Putra Wardinatha¹, Ketut Astawa¹, Made Sucipta^{1*}
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Dengan meningkatnya kebutuhan energi global dan kesadaran akan pentingnya energi terbarukan, biogas menjadi salah satu alternatif yang menarik. Namun, tantangan dalam penyimpanan biogas menjadi kendala utama dalam pemanfaatannya secara luas. Karbon aktif khususnya yang berasal dari tempurung kelapa, memiliki potensi besar sebagai adsorben untuk mengatasi permasalahan ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan kapasitas penyimpanan biogas dengan memvariasikan waktu aktivasi 10 menit, 20 menit, dan 30 menit pada karbon aktif berbasis tempurung kelapa yang diaktivasi menggunakan *microwave*. Pemanfaatan biogas dihasilkan dari mengurangi jumlah massa penyimpanan biogas saat pengisian dengan jumlah sisa massa penyimpanan biogas yang dikeluarkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu aktivasi 30 menit menghasilkan kapasitas penyimpanan biogas yang lebih tinggi, maka pemanfaatan biogas juga semakin meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa karbon aktif berbasis tempurung kelapa yang dioptimasi dapat menjadi solusi yang efektif untuk penyimpanan biogas.

Kata kunci: Biogas, Karbon aktif, Waktu aktivasi, Penyimpanan biogas, *Adsorbed Natural Gas (ANG)*, *microwave*.

Abstract

With the increasing global energy demand and awareness of the importance of renewable energy, biogas is becoming one of the attractive alternatives. However, the challenge of biogas storage is a major obstacle to its widespread utilization. Activated carbon especially from coconut shells, has great potential as an adsorbent to overcome this problem. This study aims to optimize the storage capacity of biogas by varying the activation time of 10 minutes, 20 minutes, and 30 minutes on microwave-activated coconut shell-based activated carbon. Biogas utilization results from reducing the amount of biogas storage mass when filling with the remaining amount of biogas storage mass released. The results showed that the activation time of 30 minutes resulted in a higher biogas storage capacity, hence the biogas utilization also increased. This suggests that optimized coconut shell-based activated carbon can be an effective solution for biogas storage.

Keywords: Biogas, Activated carbon, Activation time, Biogas storage, Adsorbed Natural Gas (ANG), Microwave.

1. Pendahuluan

Dengan meningkatnya kebutuhan energi global dan semakin terbatasnya sumber daya fosil, pemanfaatan sumber energi terbarukan seperti biogas menjadi semakin penting dalam upaya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar konvensional [1]. Biogas yang dihasilkan melalui proses anaerobik dari bahan organik tidak hanya berfungsi sebagai sumber energi yang bersih, tetapi juga berkontribusi pada pengurangan emisi gas rumah kaca dan pengelolaan limbah [2]. Namun, meskipun potensi besar biogas dalam mendukung transisi energi berkelanjutan, tantangan terkait penyimpanan dan transportasi biogas yang efisien masih perlu diatasi untuk mendorong penerapan teknologi ini secara lebih luas [3].

Salah satu solusi untuk mengatasi tantangan penyimpanan dan transportasi biogas adalah dengan memanfaatkan karbon aktif, yang dikenal memiliki luas permukaan besar dan kemampuan adsorpsi tinggi terhadap gas, sehingga meningkatkan efisiensi penyimpanan biogas. Karbon aktif telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, terutama dalam penyimpanan gas seperti biogas, karena karakteristiknya yang memungkinkan penyimpanan dan penyerapan gas secara efektif [4]. Salah satu bahan baku yang umum digunakan untuk produksi karbon aktif adalah tempurung kelapa. Tempurung

kelapa dipilih karena selain mudah didapat dan murah, material ini juga merupakan sumber daya terbarukan yang ramah lingkungan. Penggunaan tempurung kelapa sebagai bahan dasar tidak hanya mendukung konsep keberlanjutan, tetapi juga menghasilkan karbon aktif berkualitas tinggi dengan struktur pori yang ideal untuk aplikasi penyimpanan gas [5].

Metode aktivasi karbon aktif menggunakan *microwave* telah terbukti lebih efisien dan cepat dibandingkan dengan metode konvensional, seperti pemanasan tungku. Aktivasi dengan *microwave* bekerja melalui pemanasan dielektrik yang langsung memanaskan bahan dari dalam, sehingga mempercepat proses aktivasi dan memungkinkan distribusi panas yang lebih merata. Hal ini berpengaruh pada peningkatan kualitas pori-pori dan luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan [6]. Selain itu, metode ini secara signifikan mengurangi konsumsi energi yang dibutuhkan dalam proses aktivasi, menjadikannya lebih ramah lingkungan dan ekonomis dibandingkan metode konvensional [7]. Dengan demikian, penggunaan *microwave* dalam proses aktivasi karbon aktif menjadi solusi yang unggul dalam hal efisiensi waktu dan energi.

Berdasarkan uraian di atas, pemanfaatan karbon aktif dari tempurung kelapa sebagai media penyimpanan biogas menunjukkan potensi yang

signifikan dalam mengatasi tantangan penyimpanan energi terbarukan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi ukuran *mesh* dan waktu aktivasi terhadap kapasitas penyimpanan biogas dari karbon aktif yang dihasilkan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi penyimpanan energi berbasis karbon aktif, serta memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai optimasi penggunaan sumber daya terbarukan.

2. Dasar Teori

2.1 Biogas

Biogas merupakan suatu gas yang mudah terbakar yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerob. Fermentasi terjadi secara alami dengan menghabiskan waktu yang relatif lama. Biogas termasuk ke dalam salah satu energi terbarukan dimana sumber bahan bakunya akan selalu ada selama kehidupan masih berlangsung [8].

2.2 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah senyawa amorf yang dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau arang yang kemudian diolah secara khusus untuk meningkatkan daya adsorpsinya. Kemampuan karbon aktif untuk mengadsorpsi gas dan senyawa kimia tertentu menunjukkan sifat adsorpsi yang selektif tergantung pada ukuran atau volume pori-pori dan luas permukaannya. Daya serap karbon aktif mencapai tingkatan yang tinggi, berkisar antara 25%-100% dari berat karbon aktif. Karbon aktif bisa dibuat dari berbagai macam bahan, selama bahan tersebut mengandung unsur karbon. Kriteria bahan dasar dari karbon aktif, yaitu memiliki unsur anorganik yang rendah, memiliki daya tahan yang baik, dan mudah diaktivasi.

2.3 Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa merupakan limbah padat dari hasil olahan kelapa yang telah di ambil daging kelapa untuk mendapatkan santan (coconut milk). Tempurung kelapa pada umumnya digunakan untuk bahan bakar, keperluan rumah tangga atau 13 souvenir. tempurung kelapa yang tidak dimanfaatkan secara maksimal sehingga bisa menjadi limbah di masyarakat. Pemanfaatan tempurung kelapa sebagai bahan bakar sudah lama dikenal masyarakat dan saat ini digunakan oleh masyarakat untuk [keperluan rumah tangga, usaha maupun industri. Pemanfaatan briket arang tempurung kelapa telah mendorong kajian teknologi energi pengganti yang terbarukan [9].

2.4 Adsorbed Natural Gas (ANG)

Adsorbed Natural Gas adalah teknologi dimana gas alam diserap oleh pori-pori bahan adsorben pada tekanan yang relatif rendah. ANG merupakan metode alternatif yang cukup efektif untuk menyimpan gas alam. Penggunaan metode ANG membutuhkan material adsorben dalam wadah

penyimpanan sebagai media penyimpanan bahan alam gas, salah satunya adalah karbon aktif [10].

3. Metode Penelitian

3.1 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini, variabel bebas yang dianalisis adalah aktivasi karbon aktif, yang terdiri dari tiga kategori waktu aktivasi: 10 menit, 20 menit, dan 30 menit. Selain itu, ukuran *mesh* karbon aktif yang digunakan juga beragam, yaitu *mesh* 35-45, *mesh* 45-70, dan *mesh* 70-230. Sementara itu, untuk menjaga konsistensi, variabel kontrol yang diterapkan mencakup suhu karbonisasi yang ditetapkan pada 725°C, daya aktivasi sebesar 800 watt, dan *holding time* selama 2 jam. Adapun variabel terikat dalam penelitian ini meliputi karakteristik karbon aktif yang dihasilkan serta massa penyimpanan biogas, yang menjadi fokus utama untuk mengukur efektivitas dari proses aktivasi yang dilakukan.

3.2 Pembuatan Karbon Aktif

Proses pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa melibatkan dua tahap utama, yaitu karbonisasi dan aktivasi. Pada tahap karbonisasi, tempurung kelapa dipanaskan dalam kondisi tanpa udara pada suhu tinggi hingga komponen volatilnya menguap, menyisakan struktur karbon berpori. Proses ini dilakukan dengan memanaskan tempurung 0 dalam reaktor pada suhu yang meningkat bertahap hingga mencapai 725°C, lalu dijaga pada suhu tersebut selama 2 jam. Setelah dingin, karbon hasil karbonisasi kemudian dihaluskan dan diayak menjadi beberapa ukuran *mesh*. Tahap selanjutnya adalah aktivasi. Karbon hasil karbonisasi diaktivasi menggunakan *microwave* dengan bantuan aliran gas nitrogen untuk mencegah oksidasi. Proses aktivasi dilakukan dengan variasi waktu dan ukuran *mesh* untuk mendapatkan kondisi optimal. Hasil akhir dari proses ini adalah karbon aktif dengan luas permukaan yang besar dan kemampuan adsorpsi yang tinggi.

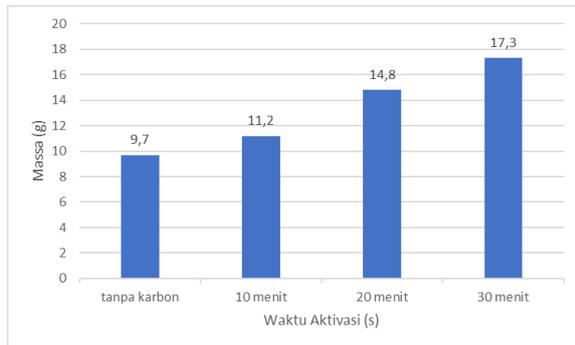
3.3 Pengujian Penyimpanan Biogas

Pengujian penyimpanan biogas ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan berbagai jenis karbon aktif dalam menyerap dan menyimpan biogas. Proses pengujian diawali dengan menyiapkan sampel karbon aktif hasil karbonisasi dengan variasi waktu aktivasi. Masing-masing sampel karbon aktif kemudian dimasukkan ke dalam tabung penyimpanan yang telah divakum. Biogas kemudian dialirkan ke dalam tabung hingga mencapai tekanan tertentu. Setelah itu, komposisi biogas yang tersimpan diukur sebelum dan sesudah penyimpanan untuk melihat adanya perubahan. Proses ini diulang untuk semua variasi karbon aktif. Data hasil pengukuran kemudian dianalisis untuk mengetahui pengaruh waktu aktivasi terhadap kemampuan adsorpsi karbon aktif terhadap biogas.

4. Hasil dan Pembahasan

Perubahan massa biogas tersimpan dan saat biogas di keluarkan pada tekanan 100 Psi dengan

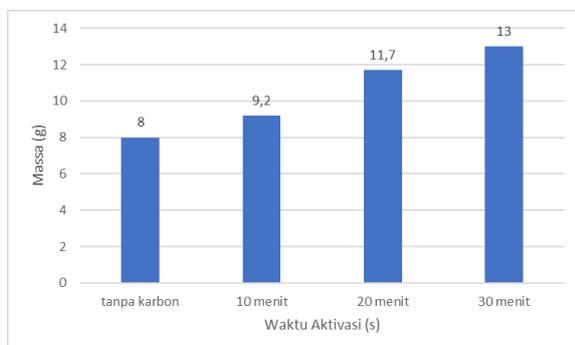
perbandingan variasi *mesh* dan waktu aktivasi ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Massa biogas tersimpan dan biogas dikeluarkan pada tekanan 100 Psi dengan variasi waktu aktivasi dan ukuran *mesh* 35-45

Gambar 4.1 menunjukkan adanya perbedaan penyimpanan biogas antara penyimpanan tanpa karbon aktif dengan yang berisi karbon aktif. Penyimpanan biogas pada tabung tanpa karbon aktif hanya mampu menyimpan biogas sebanyak 9,7 gram, sedangkan penyimpanan biogas yang menggunakan karbon aktif dari tempurung kelapa yang di karbonisasi dengan suhu 725°C dan di aktivasi menggunakan *microwave* dengan daya 800 watt dan dengan ukuran *mesh* 35-45 selama 10 menit sebagai adsorben mampu menyimpan biogas hingga 11,2 gram. Lalu karbon aktif yang diaktivasi selama 20 menit mampu menyimpan 14,8 gram, Sedangkan karbon aktif yang di aktivasi selama 30 menit mampu menyimpan 17,3 gram pada tekanan 100 psi pada masing-masing sampel. Hal ini terjadi di karenakan molekul gas yang bergerak bebas di dalam tabung kosong, kemudian tabung yang berisi karbon aktif, pori-pori dari karbon aktif akan mengikat molekul gas yang bergerak. Dari grafik tersebut dapat di simpulkan bahwa massa penyimpanan biogas mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya lama waktu aktivasi pada karbon aktif.

Biogas yang dapat dimanfaatkan dengan perbandingan variasi *mesh* dan waktu aktivasi ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Biogas yang dimanfaatkan

Gambar 4.2 menunjukkan seberapa banyak

biogas yang dapat dikeluarkan dari tabung penyimpanan biogas sehingga dapat dimanfaatkan untuk bahan bakar. Perbandingan jumlah massa yang tersimpan pada tekanan 100 Psi dan jumlah massa biogas saat dikeluarkan, maka untuk mencari berapa biogas yang dimanfaatkan dengan cara mengurangi jumlah massa biogas saat pengisian pada tekanan 100 Psi dengan jumlah massa biogas yang dikeluarkan pada tekanan 0 Psi. Sampel dari hasil pengurangan terbesar merupakan yang paling efektif untuk menyimpan biogas. Dari data hasil pengurangan, sampel dengan suhu karbonisasi 725°C yang di aktivasi dengan variasi ukuran *mesh* 35-45 dan waktu aktivasi 30 menit mendapat massa terbesar. Oleh karena itu, karbon aktif dengan variasi ini merupakan yang paling efektif dalam penyimpanan biogas.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang didapatkan bahwa semakin bertambahnya waktu aktivasi karbon aktif, maka massa penyimpanan biogas semakin bertambah. Pada penyimpanan biogas dengan waktu aktivasi pada *microwave* selama 30 menit mampu menyimpan lebih banyak biogas serta menghasilkan lebih banyak biogas yang dapat dimanfaatkan dibandingkan dengan waktu aktivasi yang lain dan tabung tanpa karbon aktif.

Daftar Pustaka

- [1] Surendra, K. C., Takara, D., Hashimoto, A. G., & Khanal, S. K. (2014). Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 846-859.
- [2] Bharathiraja, B., Sudharsana, T., Jayamuthunagai, J., Praveenkumar, R., Chozhavendhan, S., & Iyyappan, J. (2018). Biogas production—A review on composition, fuel properties, feed stock and principles of anaerobic digestion. *Renewable and sustainable Energy reviews*, 90(April), 570-582.
- [3] Biloé, S., Goetz, V., & Guillot, A. (2002). Kabeyi, M. J. B., & Olanrewaju, O. A. (2022). Biogas production and applications in the sustainable energy transition. *Journal of Energy*, 2022(1), 8750221.
- [4] Kabeyi, M. J. B., & Olanrewaju, O. A. (2022). Biogas production and applications in the sustainable energy transition. *Journal of Energy*, 2022(1), 8750221.
- [5] Sekhon, S. S., Kaur, P., & Park, J. S. (2021). From coconut shell biomass to oxygen reduction reaction catalyst: Tuning porosity and nitrogen doping. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 147, 111173.

- [6] Grekov, D., Pré, P., & Alappat, B. J. (2020). *Microwave* mode of heating in the preparation of porous carbon materials for adsorption and energy storage applications—an overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 124, 109743.
- [7] Dias, J. M., Alvim-Ferraz, M. C., Almeida, M. F., Rivera-Utrilla, J., & Sánchez-Polo, M. (2007). Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: a review. *Journal of environmental management*, 85(4), 833-846.
- [8] Pertiwiningrum, A. 2015. Buku Instalasi Biogas. Pusat kajian Pembangunan Peternakan Nasional. Fakultas Peternakan Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- [9] Panwara, N.L., S.C. Kaushik, Kothari, Surendra, 2011, Role of renewable energy sources in environmental protection: A review, *A Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 15, pp. 1513-1524.
- [10] Negara, D. N. K. P., Nindhia, T. G. T., Surata, I. W., & Sucipta, M. (2016). Potensi bambu swat (*gigantochloa verticillata*) sebagai material karbon aktif untuk adsorbed natural gas (ANG). *Jurnal Energi dan Manufaktur* Vol, 9(2), 174-179.

	<p>I Gusti Agung Putu Denny Putra Wardinatha menyelesaikan studi sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2024.</p>
<p>Judul tugas akhir: Studi Eksperimental Aktivasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa Menggunakan Microwave Dengan Variasi Ukuran Mesh Dan Waktu Aktivasi Untuk Penyimpanan Biogas.</p>	

	<p>Made Sucipta menyelesaikan studi S1 di Institut Teknologi Sepuluh November pada tahun 1998. Kemudian melanjutkan program S2 di Institut Teknologi Sepuluh November tahun 2001. Lalu, S3 di <i>Shibaura Institute of Technology</i>, Jepang tahun 2007, dan Profesi di Universitas Udayana pada tahun 2020.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan <i>fuel cell</i>, penyimpan energi, dan <i>green energy</i>. Saat ini beliau bekerja sebagai staf pengajar di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana.</p>	

	<p>Ketut Astawa menyelesaikan studi S1 di Program studi Teknik Mesin, Universitas Udayana pada tahun 1996. Kemudian menyelesaikan studi S2 di Program studi teknik mesin, Universitas Brawijaya tahun 2006.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah konversi energi meliputi perencanaan ketel uap serta topik mengenai kolektor surya.</p>	