

Pemanfaatan Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sebagai Adsorben Untuk Penyimpanan Biogas Dengan Variasi Daya Aktivasi

I Nyoman Aditya Bismadiatmika Darma¹, Ketut Astawa¹, Made Sucipta^{1*}
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Ketergantungan dunia pada energi fosil yang semakin menipis mendorong pencarian alternatif energi bersih dan berkelanjutan. Biogas yang dihasilkan dari berbagai jenis biomassa, menawarkan potensi besar sebagai sumber energi alternatif. Namun, tantangan utama dalam pemanfaatannya adalah penyimpanan biogas yang memerlukan volume besar dan teknologi yang efisien. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi penyimpanan biogas menggunakan teknologi Adsorbed Natural Gas (ANG) dengan karbon aktif yang dihasilkan dari tempurung kelapa. Karbon aktif diproduksi melalui proses aktivasi microwave dengan variasi daya 700 sampai 900 watt dengan waktu aktivasi 20 menit, untuk meningkatkan kapasitas penyimpanan biogas. Biogas yang disimpan dapat menjadi sumber energi alternatif. Ditunjukkan bahwa dengan menggunakan daya aktivasi 900 watt, jumlah biogas yang dihasilkan dan digunakan paling optimal, terlihat dari pengurangan massa penyimpanan saat dikeluarkan yang paling besar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif yang diaktivasi dengan daya 900 watt memiliki kapasitas penyimpanan biogas tertinggi. Dengan demikian, karbon aktif dari tempurung kelapa berpotensi sebagai adsorben yang efektif untuk penyimpanan biogas.

Kata kunci: Biogas, Karbon aktif, Daya aktivasi, Penyimpanan biogas, Aktivasi *Microwave*.

Abstract

The world's dependence on dwindling fossil fuels is driving the search for clean and sustainable energy alternatives. Biogas, produced from various types of biomass, offers great potential as an alternative energy source. However, the main challenge in its utilization is biogas storage which requires large volumes and efficient technology. This study aims to analyze the efficiency of biogas storage using Adsorbed Natural Gas (ANG) technology with activated carbon produced from coconut shells. Activated carbon is produced through a microwave activation process with a power variation of 700 to 900 watts with an activation time of 20 minutes, to increase the storage capacity of biogas. The stored biogas can be an alternative energy source. It was shown that by using 900 watts of activation power, the most optimal amount of biogas was produced and used, as seen from the largest reduction in storage mass when released. The results showed that activated carbon activated at 900 watts had the highest biogas storage capacity. Thus, activated carbon from coconut shell has potential as an effective adsorbent for biogas storage.

Keywords: Biogas, Activated carbon, Activation power, Biogas storage, Microwave activation.

1. Pendahuluan

Ketergantungan dunia pada energi fosil yang semakin menipis mendorong pencarian alternatif energi bersih dan berkelanjutan. Biogas yang dapat dihasilkan dari berbagai jenis biomassa, menawarkan potensi besar sebagai sumber energi alternatif [1]. Namun, kendala utama dalam pemanfaatan biogas adalah tantangan dalam penyimpanan. Sifatnya yang mudah memuai membutuhkan volume penyimpanan yang besar dan teknologi yang efisien [2]. Salah satu teknologi yang menjanjikan untuk mengatasi masalah ini adalah *Adsorbed Natural Gas* (ANG). Konsep ANG memungkinkan penyimpanan gas dalam tekanan rendah dengan memanfaatkan material berpori seperti karbon aktif sebagai adsorben [3].

Teknologi ANG memanfaatkan material penyerap seperti karbon aktif, yang memiliki porositas tinggi dan luas permukaan yang besar untuk mengadsorpsi molekul gas [4]. Karakteristik ini memungkinkan karbon aktif menyimpan volume gas yang lebih besar pada tekanan yang lebih rendah. Efisiensi teknologi ini sangat tergantung pada kualitas

karbon aktif yang digunakan, termasuk kemampuan material tersebut dalam menyerap dan melepaskan gas secara efisien [5]. Oleh karena itu, pengelolaan panas selama proses adsorpsi dan desorpsi juga menjadi faktor penting untuk menjaga kinerja penyimpanan gas yang optimal. Dengan demikian, teknologi ANG menjadi solusi yang lebih hemat energi dan lebih aman dibandingkan dengan metode penyimpanan bertekanan tinggi, menjadikannya pilihan yang relevan dalam upaya penyimpanan energi terbarukan, khususnya untuk biogas.

Karbon aktif yang dihasilkan dari limbah tempurung kelapa telah terbukti menjadi material yang sangat efektif dalam aplikasi penyimpanan gas, termasuk biogas. Tempurung kelapa dipilih karena sifatnya yang memiliki struktur pori alami dan kestabilan termal yang baik, membuatnya cocok untuk digunakan dalam proses adsorpsi gas [6]. Dalam penelitian ini, karbon aktif diaktivasi melalui pemanasan menggunakan *microwave* dengan tujuan memodifikasi struktur pori dan meningkatkan luas permukaan material [7]. Hal ini dilakukan untuk

mengoptimalkan sifat adsorptif karbon aktif, sehingga kapasitas penyimpanannya menjadi lebih efisien. Selain itu, ukuran *mesh* juga memainkan peran penting dalam menentukan efisiensi adsorpsi, di mana ukuran partikel yang lebih kecil dapat meningkatkan luas permukaan karbon aktif, sehingga meningkatkan kemampuannya dalam menyerap gas [8]. Dengan kombinasi aktivasi dan variasi ukuran *mesh*, karbon aktif diharapkan dapat mencapai karakteristik optimal untuk meningkatkan efisiensi penyimpanan biogas.

Dengan potensi karbon aktif dari tempurung kelapa dan kebutuhan akan teknologi penyimpanan energi yang bersih, penelitian ini akan berkontribusi pada pengembangan sistem penyimpanan biogas berbasis ANG yang lebih optimal. Fokus utama penelitian adalah pada optimasi proses aktivasi karbon aktif melalui variasi daya *microwave*.

2. Dasar Teori

2.1 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah bahan karbon yang diproses untuk memiliki luas permukaan yang sangat besar dan struktur pori yang bervariasi, mulai dari ukuran mikro (0–2 nm) hingga ukuran makro (lebih dari 50 nm) [9]. Karbon aktif memiliki sifat fisika, kimia, dan mekanik yang unggul, memungkinkan kapasitas adsorpsinya tinggi. Oleh karena itu, material ini dapat dimanfaatkan sebagai sensor gas, elektrode superkapasitor, pemulihan polutan organik dari air minum, penghilangan zat terlarut dari larutan berair, serta sebagai media penyaring air. Penyerapan yang dapat dilakukan dengan karbon aktif sangat tinggi, yakni sekitar 25% sampai dengan 100% dari massa karbon aktif [10].

2.2 Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa sebagai limbah dari proses produksi VCO (*Virgin Coconut Oil*) tersebut sebenarnya memiliki potensial besar sebagai produk yang bernilai jual karena karakteristik kekuatan, keawetan, dan ketahanannya terhadap air. Hasil samping dari buah kelapa yang dianggap sebagai limbah adalah tempurung kelapa dan sabut kelapa. Yang selama ini hanya digunakan sebagai bahan bakar tradisional untuk memasak. Padahal arang tempurung kelapa mempunyai manfaat yang sangat banyak, salah satunya dimanfaatkan karbonaktif. Dari sekian banyak bahan arang aktif aktif, tempurung kelapa dipilih dikarenakan kandungan selulosa, hemiselulosa, lignin, karbon sangat tinggi dibandingkan bahan/ biomassa yang lain [11].

2.3 Adsorbed Natural Gas (ANG)

Adsorbed Natural Gas (ANG) merupakan teknologi penyimpanan gas alam dengan cara diserap oleh adsorben berpori seperti karbon aktif pada tekanan yang relatif rendah (7–40 bar) dan pada temperatur kamar. Saat ini, teknologi ANG lebih banyak diterapkan di sektor transportasi dan menjadi pilihan yang lebih kompetitif dibandingkan CNG [12]. Namun, penggunaan teknologi ANG di sektor rumah tangga masih belum berkembang secara

komersial. Hal ini disebabkan oleh ketiadaan spesifikasi teknis untuk tabung ANG yang dapat dijadikan acuan dalam proses pembuatannya. Spesifikasi teknis ini sangat penting untuk memastikan kualitas tabung dan memenuhi standar keselamatan bagi pengguna. Oleh karena itu, studi ini bertujuan untuk merancang dan menetapkan spesifikasi teknis tabung ANG yang dapat diterapkan di sektor rumah tangga melalui pembuatan dan pengujian tabung. Dengan demikian, ANG menjadi pilihan alternatif yang memadai untuk penyimpanan gas alam. Salah satu material adsorben yang sesuai untuk digunakan dalam metode ANG adalah karbon aktif.

3. Metode Penelitian

3.1 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa variabel yang digunakan, yaitu variabel bebas, variabel kontrol, dan variabel terikat. Variabel bebas yang digunakan adalah daya aktivasi karbon aktif. Daya aktivasi yang digunakan meliputi tiga tingkatan, yaitu 700 watt, 800 watt, dan 900 watt. Suhu karbonisasi dan waktu aktivasi karbon aktif dikendalikan konstan sebagai variabel kontrol, yaitu pada suhu 725°C dengan waktu *holding time* selama 2 jam. Sedangkan variabel terikatnya mencakup karakteristik karbon aktif dan massa penyimpanan biogas. Perubahan pada variabel bebas diharapkan akan memengaruhi karakteristik karbon aktif yang dihasilkan serta efisiensi penyimpanan biogas.

3.2 Pembuatan Karbon Aktif

Proses pembuatan karbon aktif dimulai dengan tahap karbonisasi. Pada tahap ini, langkah-langkah yang dilakukan meliputi persiapan alat dan bahan, termasuk membersihkan dan mengeringkan tempurung kelapa. Tempurung kelapa kemudian dipotong dengan ukuran sekitar $\pm 1 \times 1$ cm sebelum ditimbang dan dimasukkan ke dalam reaktor. Proses pemanasan bertahap dilakukan, mulai dari suhu awal 25°C hingga mencapai 125°C dalam waktu 7 menit, kemudian suhu dinaikkan hingga 225°C dan 325°C, masing-masing juga dalam waktu 7 menit, hingga akhirnya mencapai suhu 425°C. Setelah itu, reaktor dimatikan dan dibiarkan hingga suhunya turun kembali ke suhu ruangan. Langkah ini diulangi hingga suhu karbonisasi sebesar 725°C tercapai. Setelah karbonisasi selesai, karbon yang dihasilkan ditimbang dan disimpan dalam wadah tertutup.

Selanjutnya adalah tahap aktivasi karbon aktif. Pada tahap ini, karbon hasil karbonisasi dari tempurung kelapa dipersiapkan dan ditumbuk serta disaring dengan ukuran *mesh* 35–45. Karbon dengan suhu karbonisasi 725°C ditimbang dan dimasukkan ke dalam tabung silinder yang diletakkan di alat *microwave*. Aktivasi dimulai dengan memeriksa aliran listrik untuk mencegah gangguan arus pendek, lalu *microwave* dihidupkan dengan daya awal 700 watt selama 20 menit, sambil dialirkan gas nitrogen untuk menjaga lingkungan bebas O₂. Setelah proses

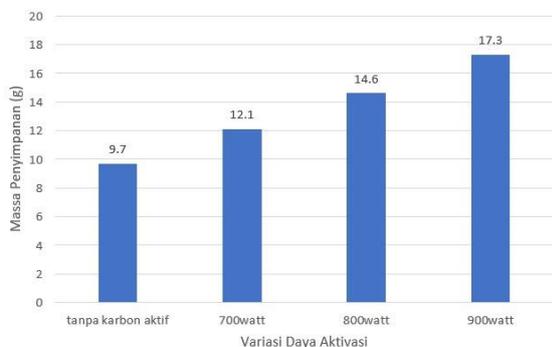
selesai, karbon yang telah diaktivasi ditimbang kembali dan disimpan dalam wadah tertutup. Proses ini diulangi untuk variasi daya aktivasi sebesar 800 watt dan 900 watt. Proses aktivasi ini bertujuan untuk meningkatkan porositas dan kualitas karbon sehingga siap digunakan untuk penyimpanan biogas.

3.3 Pengujian Penyimpanan Biogas

Pengujian penyimpanan biogas dimulai dengan mempersiapkan karbon aktif yang telah dikarbonisasi pada suhu 725°C dan diaktivasi menggunakan *microwave* dengan daya 700, 800, dan 900 watt selama 20 menit. Selanjutnya, biogas dimasukkan ke dalam plastic bag yang telah divakum. Massa tabung penyimpanan dalam keadaan kosong diukur, kemudian karbon aktif dengan ukuran *mesh* 35-45 ditimbang dan dimasukkan ke dalam tabung tersebut. Tabung divakum hingga -20 psi, lalu biogas dari plastic bag dialirkan ke tabung menggunakan kompresor hingga tekanan mencapai 100 psi. Setelah itu, massa tabung yang berisi karbon aktif dan biogas diukur kembali. Komposisi biogas yang keluar diukur dengan sensor setelah katup tabung dibuka, dan massa tabung setelah pelepasan sebagian biogas dicatat. Proses ini diulang untuk setiap variasi daya aktivasi dan hasilnya dianalisis serta disajikan dalam tabel dan grafik untuk melihat hubungan antara daya aktivasi karbon aktif dengan efisiensi penyimpanan biogas.

4. Hasil dan Pembahasan

Perubahan massa biogas tersimpan dengan perbandingan *mesh* 35-45 dan daya aktivasi 700, 800, 900 watt ditunjukkan pada Gambar 4.1.

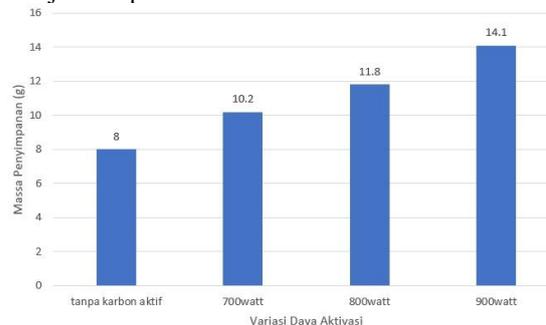


Gambar 4.1 Massa biogas tersimpan pada tekanan 100 Psi dengan variasi daya aktivasi

Berdasarkan Gambar 4.1, terlihat adanya korelasi antara daya aktivasi karbon aktif dengan kapasitas penyimpanan biogas. Semakin tinggi daya aktivasi yang diberikan, semakin besar pula massa biogas yang dapat tersimpan. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh peningkatan luas permukaan spesifik dan volume pori pada karbon aktif akibat proses aktivasi. Daya aktivasi yang lebih tinggi menghasilkan lebih banyak pori-pori kecil dan kompleks pada struktur karbon aktif, sehingga memberikan lebih banyak ruang kosong untuk molekul biogas berinteraksi. Dengan demikian, karbon aktif dengan

daya aktivasi yang lebih tinggi memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar, memungkinkan penyimpanan biogas dalam jumlah yang lebih banyak.

Biogas yang dapat dimanfaatkan dengan perbandingan variasi *mesh* dan daya 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 yang tersimpan 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 diaktivasi dengan variasi daya 900watt menghasilkan massa terbesar. Oleh karena itu, karbon aktif dengan variasi ini merupakan yang paling efektif dalam menyimpan biogas.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan bahwa massa penyimpanan biogas bertambah dengan meningkatnya daya aktivasi. Pada penyimpanan biogas menggunakan adsorben karbon aktif tempurung kelapa dengan daya aktivasi pada *microwave* sebesar 900 watt mampu menyimpan lebih banyak biogas dibandingkan dengan daya aktivasi yang lain dan tabung tanpa karbon aktif.

Daftar Pustaka

- [1] Kabeyi, M. J. B., & Olanrewaju, O. A. (2022). Biogas production and applications in the sustainable energy transition. *Journal of Energy*, 2022(1), 8750221.
- [2] Kapoor, R., Ghosh, P., Tyagi, B., Vijay, V. K., Vijay, V., Thakur, I. S., & Kumar, A. (2020). Advances in biogas valorization and utilization systems: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 273, 123052.

- [3] Biloé, S., Goetz, V., & Guillot, A. (2002). Optimal design of an activated carbon for an *Adsorbed Natural Gas* storage system. *Carbon*, 40(8), 1295-1308
- [4] Tagliabue, M., Farrusseng, D., Valencia, S., Aguado, S., Ravon, U., Rizzo, C., & Mirodatos, C. (2009). Natural gas treating by selective adsorption: Material science and chemical engineering interplay. *Chemical Engineering Journal*, 155(3), 553-566.
- [5] Reza, M. S., Yun, C. S., Afroze, S., Radenahmad, N., Bakar, M. S. A., Saidur, R., & Azad, A. K. (2020). Preparation of activated carbon from biomass and its' applications in water and gas purification, a review. *Arab Journal of Basic and Applied Sciences*, 27(1), 208-238.
- [6] Yang, J., Yue, L., Hu, X., Wang, L., Zhao, Y., Lin, Y., & Guo, L. (2017). Efficient CO₂ capture by porous carbons derived from coconut shell. *Energy & Fuels*, 31(4), 4287-4293.
- [7] Hesas, R. H., Daud, W. M. A. W., Sahu, J. N., & Arami-Niya, A. (2013). The effects of a *microwave* heating method on the production of activated carbon from agricultural waste: A review. *Journal of Analytical and Applied pyrolysis*, 100, 1-11.
- [8] An, Y., Fu, Q., Zhang, D., Wang, Y., & Tang, Z. (2019). Performance evaluation of activated carbon with different pore sizes and functional groups for VOC adsorption by molecular simulation. *Chemosphere*, 227, 9-16.
- [9] Nicholas, A. F. (2019). Activated Carbon for Shape-Stabilized Phase Change Material. *Micro and Nano Technologies*, 279-308.
- [10] Mammoria, C. D. (2016). Pembuatan Karbon Aktif Dari Kulit Durian Sebagai Adsorben Zat Warna Dari Limbah Cair Tenun Songket Dengan Aktivator Naoh. *Journal Of Forest Science* 2016, 4-33.
- [11] Iskandar.2012. Analisis Unsur Karbon Aktif Tempurung Kelapa dengan Metode Analisis Ultimat (Ultimate Analysis). *Jurnal Fisika*.
- [12] California Energy Commission. (2017). *Adsorbed Natural Gas On-Board Storage for Light-Duty Vehicles*. California.

	<p>I Nyoman Aditya Bismadiatmika Darma menyelesaikan studi sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2024.</p>
<p>Judul tugas akhir: Kajian Eksperimental Aktivasi Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa Menggunakan Microwave Dengan Variasi Daya Aktivasi Dan Ukuran Mesh 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>, penyimpanan 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>	