

# Pengaruh Suhu Karbonisasi Terhadap Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif Tempurung Kelapa Dalam Penyimpanan Biogas

Abed Nego Ersan<sup>1</sup>, Ketut Astawa<sup>1</sup>, Made Sucipta<sup>1\*</sup>

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

---

## Abstrak

Krisis energi global telah mendorong pengembangan sumber energi terbarukan. Biogas sebagai sumber energi terbarukan memiliki potensi besar namun terkendala oleh masalah penyimpanan. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penyimpanan biogas melalui optimasi proses produksi karbon aktif dari tempurung kelapa. Dengan memvariasikan suhu karbonisasi 425°C, 525°C, 625°C. penelitian ini menganalisis pengaruh variabel tersebut terhadap kapasitas adsorpsi karbon aktif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu karbonisasi 625°C menghasilkan karbon aktif dengan kinerja terbaik dalam kapasitas penyimpanan biogas. Dimana, karbon aktif dengan variasi suhu karbonisasi yang paling tinggi tidak hanya memiliki kapasitas penyimpanan biogas yang lebih banyak, tetapi juga mampu menghasilkan jumlah biogas yang dapat dimanfaatkan lebih besar dibandingkan dengan karbon aktif yang dihasilkan pada suhu karbonisasi yang lebih rendah. Dengan demikian, bahwa suhu karbonisasi yang lebih tinggi dapat meningkatkan massa penyimpanan biogas secara signifikan dan penggunaan karbon aktif yang berasal dari tempurung kelapa dapat meningkatkan efektivitas penyimpanan biogas dibandingkan dengan penyimpanan tanpa penggunaan karbon aktif sebagai adsorben.

Kata kunci: Biogas, Karbon aktif, Tempurung kelapa, *Adsorbed Natural Gas (ANG)*, *Microwave activation*.

## Abstract

*The global energy crisis has encouraged the development of renewable energy sources. Biogas as a renewable energy source has great potential but is limited by storage problems. This study aims to improve the efficiency of biogas storage by optimising the production process of coconut shell activated carbon. By varying the carbonisation temperature of 425°C, 525°C, 625°C, this study analysed the effect of these variables on the adsorption capacity of activated carbon. The results showed that the carbonisation temperature of 625°C produced activated carbon with the best performance in biogas storage capacity. In fact, the activated carbon with the highest carbonisation temperature variation not only has more biogas storage capacity, but is also able to produce a greater amount of usable biogas compared to the activated carbon produced at lower carbonisation temperatures. Thus, higher carbonisation temperatures can significantly increase the mass of biogas storage and the use of coconut shell activated carbon can increase the effectiveness of biogas storage compared to storage without the use of activated carbon as an adsorben.*

*Keywords: Biogas, Activated carbon, Coconut shell, Adsorbed Natural Gas (ANG), Microwave activation.*

---

## 1. Pendahuluan

Krisis energi global yang semakin mendesak telah mendorong pencarian alternatif sumber energi yang berkelanjutan. Biogas, yang dihasilkan dari proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme dalam kondisi anaerob, muncul sebagai salah satu sumber energi yang memiliki potensi besar dalam pengembangan energi terbarukan. [1]. Potensi biogas sebagai sumber energi alternatif sangat besar mengingat ketersediaan bahan baku yang melimpah dan sifatnya yang ramah lingkungan. Namun, pemanfaatan biogas secara optimal masih terkendala oleh beberapa faktor, salah satunya adalah tantangan dalam penyimpanan.

Sebagai solusi terhadap tantangan dalam penyimpanan biogas, teknologi *Adsorbed Natural Gas (ANG)* telah muncul sebagai solusi yang inovatif. ANG memanfaatkan prinsip adsorpsi, yaitu proses di mana molekul gas melekat pada permukaan material penyerap (adsorben) [2]. Berbeda dengan metode penyimpanan konvensional yang memerlukan tekanan dan suhu yang tinggi,

ANG memungkinkan penyimpanan gas pada kondisi yang lebih ringan [3]. Karbon aktif, dengan luas permukaannya yang sangat besar dan sifat porinya yang unik, menjadi salah satu adsorben yang paling banyak digunakan dalam teknologi ANG [4]. Dengan mengadsorpsi molekul biogas ke dalam pori-pori karbon aktif, gas dapat disimpan dalam volume yang lebih kecil dan dengan tingkat keamanan yang lebih tinggi.

Sebagai adsorben, karbon aktif memiliki luas permukaan yang sangat besar dan struktur pori yang kompleks, memungkinkan terjadinya interaksi fisik dan kimia antara permukaan karbon dengan molekul gas [5]. Hal ini memungkinkan penyimpanan gas dalam volume yang lebih kecil dibandingkan dengan metode konvensional. Di antara berbagai jenis karbon aktif, karbon aktif dari tempurung kelapa sering menjadi pilihan utama karena ketersediaannya yang melimpah, biaya produksi yang relatif rendah, dan sifat adsorpsinya yang baik [6]. Namun, kinerja karbon aktif sangat dipengaruhi oleh proses aktivasi, yang melibatkan pemanasan pada suhu tinggi dalam suasana yang

terbatas oksigen. Faktor-faktor seperti ukuran *mesh* dan suhu karbonisasi akan mempengaruhi luas permukaan, volume pori, dan distribusi ukuran pori, sehingga secara signifikan memengaruhi kapasitas adsorpsi karbon aktif [7].

Berdasarkan penjelasan diatas, maka dilakukan penelitian mengenai karbon aktif berbahan dasar tempurung kelapa dengan variasi suhu karbonisasi tertentu yang diaktivasi menggunakan *microwave* dengan daya dan waktu aktivasi tertentu. Dengan suhu karbonisasi dan suhu aktivasi tertentu pada penelitian tersebut diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penyimpanan biogas pada teknologi ANG (*Adsorbed Natural Gas*).

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Biogas

Biogas adalah gas yang mudah terbakar yang dihasilkan melalui proses fermentasi bahan organik oleh bakteri anaerob. Fermentasi ini berlangsung secara alami dan memerlukan waktu yang cukup lama. Biogas termasuk dalam kategori energi terbarukan karena sumber bahan bakunya akan selalu tersedia selama keberadaan organik masih berlangsung [8].

### 2.2 Adsorbed Natural Gas (ANG)

ANG, atau Adsorbed Natural Gas, adalah teknologi di mana gas alam diserap oleh pori-pori bahan adsorben pada tekanan yang relatif rendah. ANG merupakan alternatif yang cukup efektif untuk menyimpan gas alam. Penerapan metode ANG membutuhkan material adsorben yang ditempatkan dalam wadah penyimpan sebagai media penampung gas alam, salah satunya adalah karbon aktif [9].

### 2.3 Tempurung Kelapa

Indonesia merupakan negara produsen kelapa terbesar di antara Filipina, India, Brasil, dan Sri Lanka. Pada tahun 2010, produksi kelapa mencapai 20.655.400 ton. Tempurung kelapa memiliki kandungan atom-atom C, O, H, dan N. Komposisi dari tempurung kelapa ditunjukkan pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Komposisi Tempurung Kelapa (Amu *et al*, 2011)

Komponen	%
Selulosa	33,61
Liginin	36,51
Pentosa	29,27
Abu	0,61

Selain untuk menghasilkan arang, tempurung kelapa juga dapat dimanfaatkan untuk membuat arang aktif, yang memiliki kemampuan menyerap gas dan uap. Arang aktif juga bermanfaat untuk mengurangi tingkat kekerasan air, kandungan besi, dan kandungan NaCl dalam air sumur [10].

## 3. Metode Penelitian

### 3.1 Variabel Penelitian

Pada penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah suhu karbonisasi dari karbon aktif. Adapun suhu karbonisasi yang digunakan, yaitu suhu karbonisasi 425 °C, 525 °C, dan 625 °C. Variabel Kontrol dalam penelitian ini, yaitu ukuran *mesh* daya dan waktu aktivasi karbon aktif. Ukuran *mesh* yang digunakan 35-45 (500µm). Aktivasi dengan daya 800 watt selama 20 menit dengan laju alir nitrogen yaitu 20g/min dan waktu holding time selama 2 jam. Variabel terikat, yaitu: komposisi biogas dan massa penyimpanan biogas.

### 3.2 Pembuatan Karbon Aktif

Proses pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa terjadi dalam dua proses, yaitu karbonisasi dan aktivasi. Proses pertama adalah karbonisasi, di mana tempurung kelapa yang telah disiapkan dicuci hingga bersih dan dikeringkan. Tempurung kemudian dipotong dengan ukuran sekitar 1x1 cm. Sebelum memulai karbonisasi, aliran listrik diperiksa untuk mencegah gangguan arus pendek. Tempurung kelapa yang sudah dipotong ditimbang dan dimasukkan ke dalam reaktor karbonisasi. Proses pemanasan dimulai dengan meningkatkan suhu secara bertahap, yaitu dari 25°C hingga 125°C selama 7 menit, kemudian suhu dinaikkan lagi hingga 225°C, 325°C, dan 425°C, masing-masing dengan durasi pemanasan 7 menit per tahap. Setelah mencapai suhu 425°C, reaktor dibiarkan pada suhu tersebut selama 2 jam (*holding time*). Setelah proses karbonisasi selesai, alat karbonisasi dimatikan dan dibiarkan mendingin hingga mencapai suhu ruangan. Massa karbon hasil karbonisasi ditimbang dan disimpan dalam wadah tertutup. Proses yang sama diulangi untuk variasi suhu karbonisasi lainnya, yaitu 525°C dan 625°C.

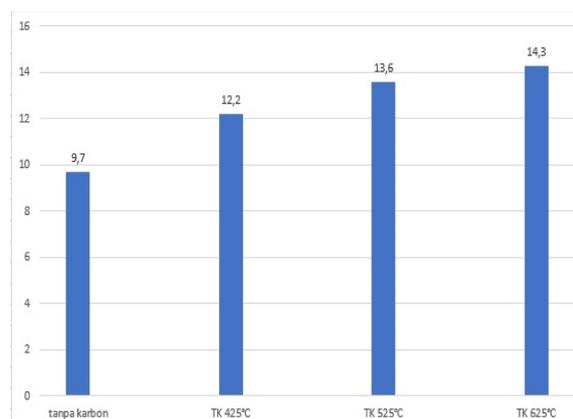
Proses kedua adalah aktivasi karbon. Karbon hasil karbonisasi terlebih dahulu dihaluskan dan disaring dengan tiga ukuran *mesh* yang berbeda, yaitu *mesh* 35-45 (500µm), *mesh* 45-70 (354µm), dan *mesh* 70-230 (210µm). Karbon yang telah disaring dengan ukuran *mesh* 35-45 (500µm) ditimbang untuk menentukan massanya, kemudian dimasukkan ke dalam tabung silinder yang diletakkan di dalam *microwave* untuk proses aktivasi. Sebelum memulai aktivasi, aliran listrik diperiksa kembali untuk mencegah gangguan arus pendek. *Microwave* diaktifkan dengan daya 800 watt, dan karbon diaktifkan selama 20 menit. Selama proses ini, gas nitrogen dialirkan untuk memastikan bahwa lingkungan dalam *microwave* terbebas dari oksigen. Setelah proses aktivasi selesai, massa karbon aktif ditimbang dan disimpan dalam wadah tertutup. Proses yang sama diulangi untuk karbon yang dikarbonisasi pada suhu 425°C dengan ukuran *mesh* 45-70 (354µm) dan *mesh* 70-230 (210µm), serta untuk karbon dengan suhu karbonisasi 525°C dan 625°C dengan ketiga ukuran *mesh* yang berbeda.

### 3.3 Pengujian Penyimpanan Biogas

Pengujian penyimpanan biogas dilakukan dengan sembilan sampel karbon aktif yang telah dikarbonisasi pada berbagai suhu dan diaktivasi menggunakan microwave. Komposisi biogas diukur menggunakan sensor, kemudian biogas dimasukkan ke dalam *plastic bag* yang telah divakum. Massa tabung penyimpanan diukur dalam keadaan kosong, setelah itu karbon aktif yang telah diaktivasi dimasukkan ke dalam tabung dan massa tabung diukur kembali. Tabung divakum hingga tekanan 20 psi, lalu biogas dialirkan dari *plastic bag* ke dalam tabung hingga tekanan mencapai 100 psi. Setelahnya, massa tabung yang berisi biogas diukur dan komposisi biogas yang keluar diukur dengan sensor. Langkah ini diulang untuk setiap sampel karbon aktif, dengan hasil disajikan dalam bentuk tabel dan grafik yang menunjukkan hubungan antara variasi suhu karbonisasi dan karakteristik penyimpanan.

### 4. Hasil dan Pembahasan

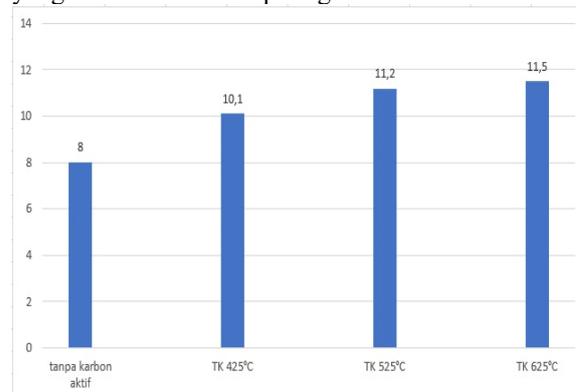
Pada gambar 4.1 menunjukkan massa penyimpanan biogas pada masing-masing suhu karbonisasi.



**Gambar 4.1** Massa biogas tersimpan pada tekanan 100 Psi dengan variasi suhu karbonisasi

Gambar 4.1 memperlihatkan hubungan antara suhu karbonisasi dan kapasitas penyimpanan biogas pada karbon aktif yang berasal dari tempurung kelapa. Dengan meningkatnya suhu karbonisasi, semakin besar pula massa biogas yang dapat teradsorpsi oleh karbon aktif. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh peningkatan pengembangan luas permukaan spesifik karbon aktif pada suhu tinggi. Proses karbonisasi pada suhu yang lebih tinggi menyebabkan terbentuknya lebih banyak pori-pori kecil dan besar di dalam struktur karbon, sehingga menyediakan lebih banyak permukaan untuk interaksi dengan molekul biogas. Selain itu, pada suhu tinggi proses dekomposisi bahan organik dalam tempurung kelapa menjadi karbon lebih sempurna, proses tersebut menghasilkan luas

permukaan karbon aktif yang lebih besar dengan tingkat kemurnian yang lebih tinggi. Sehingga, karbon aktif yang dihasilkan pada suhu karbonisasi yang lebih tinggi memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik terhadap biogas.



**Gambar 4.2** Massa biogas yang dapat dimanfaatkan dengan variasi suhu karbonisasi

Pada Gambar 4.2 menunjukkan adanya perbedaan penyimpanan biogas antara menggunakan tabung kosong dengan tabung yang berisi karbon aktif. Penyimpanan biogas pada tabung kosong hanya mampu menyimpan biogas sebanyak 8 gram, sedangkan penyimpanan biogas yang menggunakan karbon aktif dari tempurung kelapa yang di karbonisasi dengan suhu 425°C, 525°C, dan 625°C dengan ukuran *mesh* 35-45 dan daya aktivasi 800 watt selama 20 menit menggunakan *microwave* dapat menyimpan biogas dengan kapasitas yang lebih banyak. Hal ini terjadi dikarenakan molekul gas bergerak bebas di dalam tabung kosong, kemudian tabung yang berisi karbon aktif, pori-pori dari karbon aktif akan mengikat molekul gas yang bergerak.

### 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan kesimpulan yang didapat bahwa massa penyimpanan biogas semakin bertambah dengan meningkatnya suhu karbonisasi yang menggunakan karbon aktif dari tempurung kelapa. Dimana sampel terbaik pada penelitian ini untuk menyimpan biogas yaitu suhu karbonisasi 625°C mampu menyimpan lebih banyak biogas serta menghasilkan pengurangan massa penyimpanan saat dikeluarkan yang paling besar dibandingkan dengan suhu karbonisasi yang lebih rendah dan tidak menggunakan karbon aktif

### Daftar Pustaka

- [1] Christy, P. M., Gopinath, L. R., & Divya, D. (2014). *A review on anaerobic decomposition and enhancement of biogas production*

- through enzymes and microorganisms*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 34, 167-173.
- [2] Alhasan, S., Carriveau, R., & Ting, D. K. (2016). *A review of adsorbed natural gas storage technologies*. International Journal of Environmental Studies, 73(3), 343-356.
- [3] Veluswamy, H. P., Kumar, A., Seo, Y., Lee, J. D., & Linga, P. (2018). *A review of solidified natural gas (SNG) technology for gas storage via clathrate hydrates*. Applied Energy, 216, 262-285.
- [4] Zhou, Y., Lu, J., Zhou, Y., & Liu, Y. (2019). *Recent advances for dyes removal using novel adsorbents: a review*. Environmental pollution, 252, 352-365.
- [5] Mohammad-Khah, A., & Ansari, R. (2009). *Activated charcoal: preparation, characterization and applications: a review article*. Int J Chem Tech Res, 1(4), 859-864.
- [6] Huang, P. H., Cheng, H. H., & Lin, S. H. (2015). *Adsorption of carbon dioxide onto activated carbon prepared from coconut shells*. Journal of Chemistry, 2015(1), 106590.
- [7] Daud, W. M. A. W., Ali, W. S. W., & Sulaiman, M. Z. (2000). *The effects of carbonization temperature on pore development in palm-shell-based activated carbon*. Carbon, 38(14), 1925-1932.
- [8] Pertiwinigrum, A. 2015. *Buku Instalasi Biogas*. Pusat kajian Pembangunan Peternakan Nasional. Fakultas Peternakan Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- [9] 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.
- [10] Suhartana. (2006). *“Pemanfaatan tempurung kelapa sebagai bahan baku arang aktif dan aplikasinya untuk penjernihan air sumur di Desa Belor Kecamatan Ngaringan Kabupaten Grobogan,”* Berk. Fis.,09, pp. 151–156.

	<p><b>Abed Nego Ersan</b> 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 <i>Microwave</i> Dengan Variasi Ukuran <i>Mesh</i> Dan Suhu Karbonisasi 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>	