

# Karakteristik Penyimpanan Biogas Dengan Karbon Aktif Berbasis Bambu Apus Dengan *Steam Activation*

Made Sucipta<sup>1)\*</sup>, Hendra Wijaksana<sup>1)</sup>, Made Suarda<sup>2)</sup>, I Gusti Komang Dwijana<sup>3)</sup>, Epenetus Rapael<sup>4)</sup>, I Gede Krisna Pratama<sup>5)</sup>, Cindy Dwi Meylinda<sup>6)</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Badung Bali

Naskah diterima ; 08 09 2023 direvisi 02 10 2023; disetujui 04 12 2023  
doi: <https://doi.org/10.24843/JEM.2023.v16.i02.p08>

## Abstrak

Salah satu metode penyimpanan biogas dapat dilakukan dengan teknologi Adsorbed Natural Gas (ANG) menggunakan media adsorben dengan luas permukaan yang besar. Karbon aktif merupakan media yang sangat atraktif untuk dapat digunakan pada teknologi ANG. Salah satu teknologi yang dikembangkan adalah aktivasi secara fisika dengan menggunakan media uap (*steam*). Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan karbon aktif dengan menggunakan metode *steam activation* dengan menggunakan precursor bambu apus dengan variasi temperatur karbonisasi sebesar 525°C, 625 °C, dan 725 °C. Karbon yang dihasilkan selanjutnya diaktivasi dengan ukuran mesh 70-230 pada temperature 425°C dengan holding time selama 2 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar temperatur karbonisasi maka semakin besar pula penurunan massa dari precursor bambu pada masing-masing proses karbonisasi dan aktivasi. Pada pengujian kemampuan penyimpanan biogas, karbon aktif sebanyak 15gram dimasukkan ke dalam tabung penyimpanan biogas. Sebagai pembandingan, dilakukan pula pengujian dengan tabung penyimpanan tanpa karbon aktif. Hasilnya, kapasitas penyimpanan biogas yang lebih tinggi diperoleh pada tabung penyimpanan biogas yang diisi dengan karbon aktif daripada tabung penyimpanan tanpa karbon aktif. Kapasitas penyimpanan biogas meningkat seiring meningkatnya temperatur karbonisasi. Penyimpanan tertinggi tercapai pada temperatur 725°C dengan massa 37,2gram pada tekanan 100 psi.

Kata kunci: Karbon aktif, Adsorbed Natural Gas, penyimpanan biogas, karbonisasi

## Abstract

Adsorbed natural gas (ANG) technology can be applied to store biogas due to the high methane concentration in the biogas. The activated carbon is one of the attractive media that can be used for the ANG technology. One developed technology is physical activation using steam as a medium of activation. In this research, manufacturing activated carbon with steam activation uses Apus bamboo as a precursor by varying carbonization temperatures of 525°C, 625°C, and 725°C. The activation of the produced carbon is conducted with the mesh of 70-230 at the temperature of 425°C with a holding time of 2 hours. As a result, an increase in carbonization temperature will decrease the remaining mass of the precursor both in the carbonization and activation processes. The capability to store biogas was experimentally done by filling out the storage tank with the activated carbon of 15 grams for each carbonization temperature. As a comparison, the test was also conducted in the storage tank without the activated carbon. The result shows that the higher capacity of biogas storage can be achieved by a storage tank filled with activated carbon compared to the one without activated carbon. The increase in the carbonization temperature will increase the biogas that can be stored. The highest capacity storage of the biogas can be achieved for the storage tank filled with activated carbon that is carbonizing at the temperature of 725°C, i.e., with a biogas storage mass of 37.2 grams at the pressure of 100 psi.

Keywords: Activated carbon, Adsorbed Natural Gas, biogas storage, carbonization

## 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 Adsorbed Natural Gas (ANG). Teknologi ini dapat menyimpan biogas dalam sebuah tabung dengan kapasitas yang lebih banyak. Tabung diisi material berpori dan memiliki sifat adsorben serta luas permukaan yang luas dibandingkan dengan volumenya.

Teknologi ANG dengan adsorben karbon aktif berpotensi untuk dijadikan metode penyimpanan gas [1]. 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]. Penggunaan karbon aktif telah digunakan pada bidang yang luas, seperti misalnya kualitas tinggi karbon aktif

berbasis bambu berpotensi dimanfaatkan dalam pembuatan elektroda superkapasitor [3]. Yang terbaru, respirator untuk anak didesain dengan mengombinasikan karbon aktif berbasis bambu dengan prefilter N95 dan filter HEPA sebagai sistem filtrasi dan kombinasi dari sistem filtrasi ini dapat menyaring partikel kecil [4]. Bambu apus tidak hanya berpotensi dijadikan karbon aktif, tetapi juga bisa digunakan sebagai sumber energi untuk aplikasi lainnya [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 menghasilkan sifat adsorben yang kuat [6]. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk melihat pengaruh temperatur karbonisasi. Temperatur karbonisasi yang semakin tinggi akan menurunkan nilai bilangan lodin [7]. Pada aplikasi lainnya, karakteristik capillary pumping head (CPH) diteliti dengan memvariasikan temperatur karbonisasi [8]. Nilai CPH tertinggi diperoleh pada temperatur karbonisasi tertinggi yaitu 500 °C sehingga berpotensi besar untuk dijadikan material pad pada direct evaporating cooling.

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 [9].

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur karbonisasi terhadap penyimpanan biogas menggunakan karbon aktif yang diproduksi dari limbah bambu yang diaktivasi dengan

uap air. Penelitian ini bertujuan menghasilkan karbon aktif terbaik yang dapat digunakan sebagai adsorben dalam tabung penyimpanan biogas.

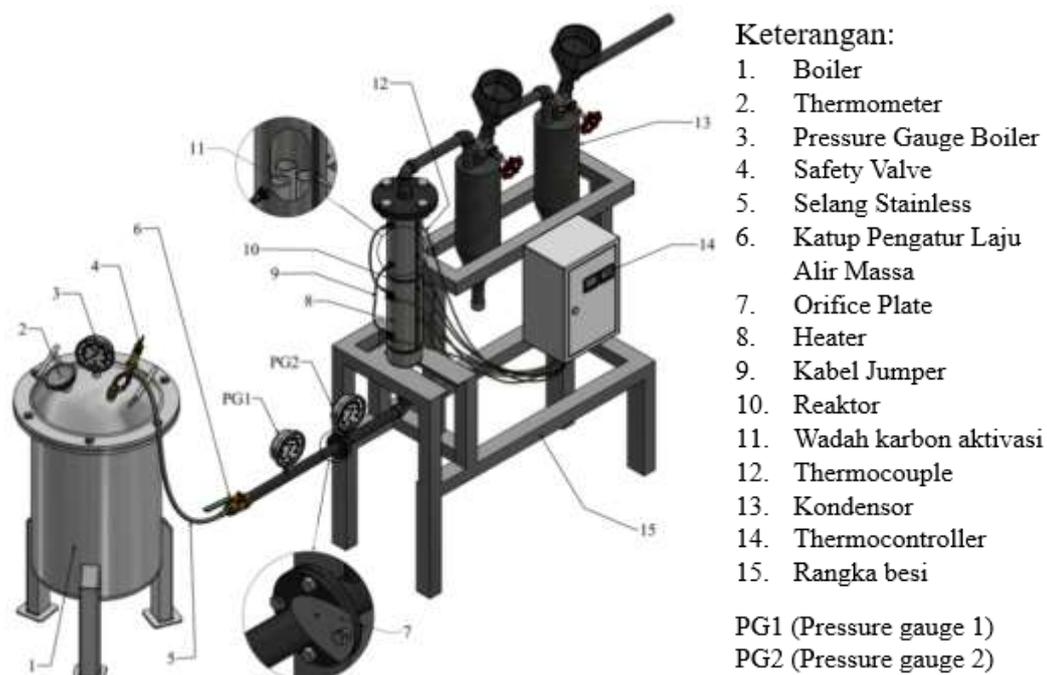
## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Manufaktur Karbon aktif

Alat yang digunakan untuk memproduksi karbon aktif dapat dilihat pada Gambar 1. Kedua proses karbonisasi dan aktivasi pada prinsipnya dilakukan menggunakan alat yang sama, dimana pada proses karbonisasi boiler tidak diaktifkan dan hanya menggunakan reaktornya saja.

Pada proses karbonisasi, material bambu apus dipotong dengan ukuran sekitar 2,5 cm x 1 cm dengan menyesuaikan ketebalan bambu. Setelah dikeringkan selama 24 jam, bambu ditimbang sejumlah 900 gram kemudian dimasukkan ke dalam reaktor karbonisasi. Dengan menggunakan pemanas listrik, temperatur reaktor diset mencapai 525°C, dan ditahan selama 2 jam. Karbon yang dihasilkan dibiarkan dingin selama 24 jam, kemudian ditimbang massa akhir yang dihasilkan. Prosedur yang sama dilakukan untuk proses karbonisasi temperatur 625°C, dan 725°C.

Karbon yang dihasilkan selanjutnya ditumbuk/dihaluskan kemudian disaring dengan menggunakan ukuran mesh 70-230. Karbon ditimbang dengan massa awal sebesar 35gram untuk dimasukkan kedalam reaktor aktivasi. Boiler dihidupkan hingga mencapai tekanan 90 psi dan temperatur 160 °C. Reaktor aktivasi dipanaskan secara bertahap sebesar 25°C setiap 5 menit sampai mencapai temperatur 425°C ditahan selama 2 jam. Pada saat reaktor aktivasi dipanaskan, katup boiler dibuka untuk memperoleh laju alir massa sebesar 115 g/min dengan mengatur orifice plate yang dilengkapi dengan pengukur tekanan. Karbon aktif yang dihasilkan didinginkan selama 24 jam, untuk selanjutnya karbon aktif yang dihasilkan ditimbang kembali.



Gambar 1. Skema alat manufaktur karbon aktif dengan proses steam activation.

## 2.2. Uji Penyimpanan Biogas

Pada pengujian penyimpanan biogas, tabung penyimpanan diisi karbon aktif untuk setiap karbon aktif yang dihasilkan dari ketiga variasi temperatur karbonisasi sebanyak masing-masing 15 gram. Sebagai pembandingan dilakukan pula pengujian penyimpanan biogas tanpa diisi karbon aktif. Biogas yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari reaktor biogas Simantri Pesalakan yang bertempat di Pejeng Kangin, Gianyar, Bali yang telah ditampung sementara menggunakan kantong plastik.

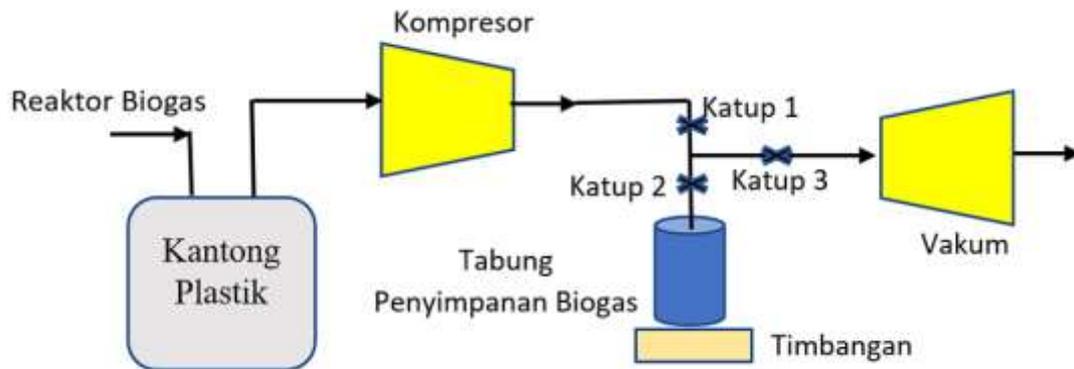
Setelah melalui proses vakum pada tabung penyimpanan biogas hingga mencapai tekanan -20 psi, selanjutnya biogas dikompresikan dari kondisi tabung vakum hingga mencapai tekanan 100 psi. Pengukuran massa dilakukan ketika tekanan mencapai 100 psi. Setelah pengambilan data massa biogas yang tersimpan dalam karbon aktif, tabung dibersihkan dengan mengeluarkan karbon aktif dan biogas tersisa, selanjutnya digunakan lagi untuk pengujian karbon aktif dengan variasi temperatur karbonisasi lainnya. Skema pengujian penyimpanan biogas ditunjukkan pada Gambar 2.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Pengurangan Massa Karbon Pada Proses Karbonisasi

Massa karbon aktif setelah proses karbonisasi dapat dilihat pada Gambar 3. Dapat diamati bahwa

semakin tinggi temperatur karbonisasi, maka massa karbon aktif yang dihasilkan semakin sedikit. Ketika pemanasan temperatur tinggi, elemen non karbon atau zat pengotor lainnya akan terlepas [10] sehingga berat total akan berkurang secara signifikan. Selain itu, semakin tinggi temperatur karbonisasi kemungkinan besar karbon aktif yang dihasilkan akan lebih terurai dan muncul retakan. Akibatnya karbonisasi karbon aktif pada temperatur tinggi lebih berpori dibandingkan pada temperatur rendah [11]. Ketika membandingkan hasil karbonisasi pada temperatur 525°C (Gambar 3a), 625°C (Gambar 3b), dan 725°C (Gambar 3c), terlihat jelas bahwa peningkatan temperatur karbonisasi membuat karbon aktif semakin hancur atau menghasilkan struktur karbon aktif yang retak dan berserat. Total pengurangan massa yang terjadi setelah proses karbonisasi direpresentasikan oleh Tabel 1. Pengurangan massa karbon tertinggi terjadi pada temperatur 725 °C dengan pengurangan massa sebanyak 674,9 g. Sedangkan pengurangan massa karbon terendah terjadi pada temperatur 525°C yaitu 629,3 g. Dari data dapat disimpulkan semakin tinggi temperatur karbonisasi, maka banyak pengurangan massa karbon. Hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur membuat zat pengotor dan unsur nonkarbon lebih mudah menguap. Faktor inilah yang menyebabkan terjadinya pengurangan massa karbon yang lebih banyak pada temperatur karbonisasi yang semakin tinggi.



Gambar 2. Skema pengujian penyimpanan biogas kedalam tabung penyimpan. Tungku krusibel untuk mencairkan logam yang prinsip kerja dengan membakar arang didalam tungkunya dan ditiup menggunakan blower



Gambar 3. Hasil karbonisasi temperatur (a) 525°C, (b) 625°C, dan (c) 725°C

Tabel 1. Penurunan massa karbon setelah karbonisasi dengan variasi temperature

Temperatur Karbonisasi (°C)	Massa (gr)		
	Sebelum	Sesudah	Total Pengurangan Massa
525	900	270,7	629,3
625	900	244,3	655,7
725	900	225,1	674,9

### 3.2. Pengurangan Massa Karbon Aktif Pada Proses Aktivasi

Aktivasi dilakukan untuk meningkatkan struktur pori-pori [12]. Setiap variasi karbon aktif diaktivasi pada temperatur 425°C dengan massa 35 g. Massa yang diperoleh setelah prosedur aktivasi ditunjukkan pada Gambar 4. Karbon aktif dengan temperature karbonisasi (Tk) 725 °C menghasilkan massa akhir paling sedikit dibandingkan variasi Tk lainnya, yaitu sebesar 22.4 g. Sebagaimana yang ditampilkan pada Gambar 3(c), karbon aktif k 725°C merupakan sampel yang telah tumbuh retak dengan zat pengotor yang lebih halus. Sehingga ketika proses aktivasi, aliran uap mudah untuk mengikat dan mengangkut residu abu yang menutupi pori-pori karbon aktif [13]. Pertumbuhan retakan selain dapat membantu membersihkan permukaan karbon aktif juga membuka lebih banyak pori-pori [14]. Semakin banyak pori yang terbentuk mengakibatkan penurunan massa karbon aktif.

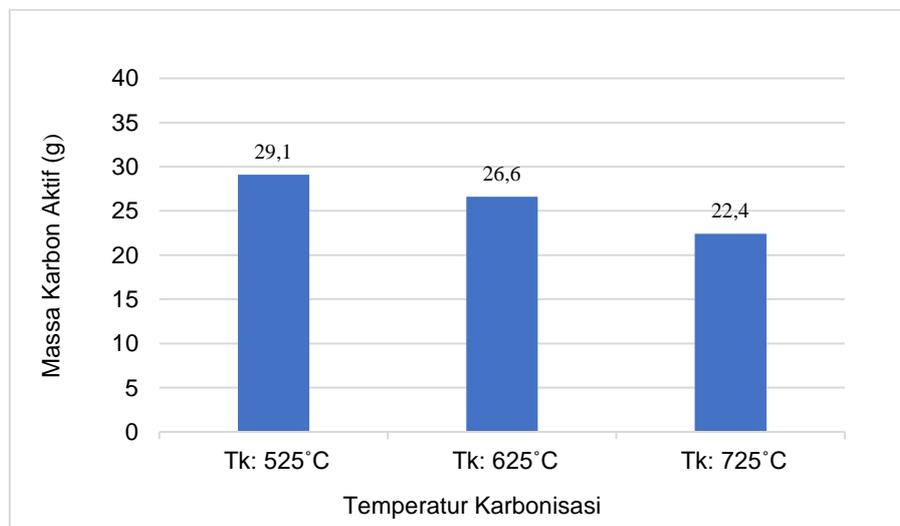
Berdasarkan grafik di bawah ini, menunjukkan bahwa sampel karbon aktif dari arang bambu yang dikarbonisasi dengan temperatur lebih tinggi memiliki penurunan massa yang semakin besar. Dengan begitu, sampel dengan temperatur karbonisasi tinggi akan lebih ringan

### 3.3. Penyimpanan Biogas

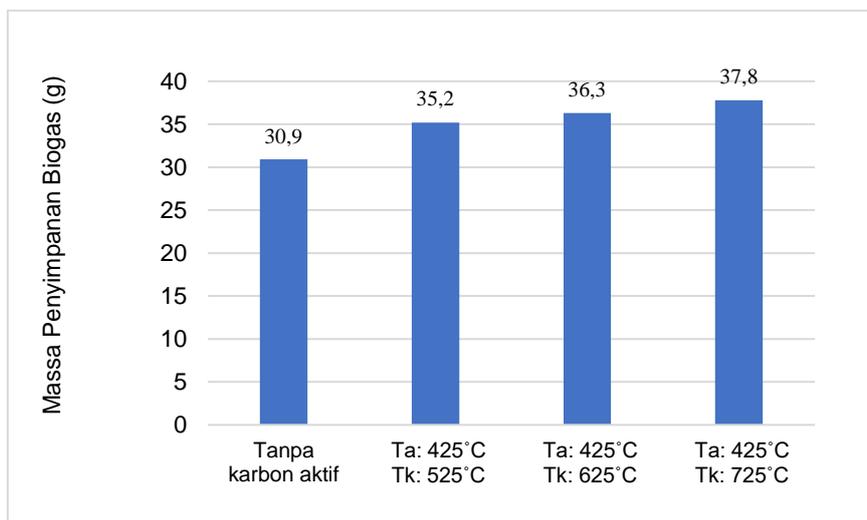
Pengujian penyimpanan biogas dilakukan pada tekanan 100 psi. Hasil pengujian penyimpanan biogas menunjukkan bahwa penambahan karbon aktif dalam sebuah tabung dapat meningkatkan kemampuannya

dalam menyimpan biogas dibandingkan dengan tabung yang tidak memiliki karbon aktif. Kapasitas penyerapan metana oleh karbon aktif tergantung pada luas permukaan karbon aktif dan jumlah pori-pori yang tersedia untuk menampung molekul metana. Membandingkan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini dan hasil yang diperoleh Li et al [15], terdapat kesesuaian dimana pada temperatur aktivasi ( $T_a$ ) yang sama, semakin tinggi temperature karbonisasi (Tk) akan memiliki kapasitas penyimpanan yang semakin tinggi pula. Sejalan dengan semakin sedikitnya massa setelah aktivasi yang mengindikasikan semakin berporinya suatu karbon aktif sehingga kapasitas penyerapan metana pun tinggi. Interaksi antara molekul gas metana dan permukaan karbon aktif mengikuti prinsip Van Der Waals. Karbon aktif memiliki struktur yang sangat berpori dan permukaan internal yang besar. Porositas ini menciptakan banyak titik kontak untuk menarik dan menahan molekul metana pada permukaan karbon aktif [16].

Dapat diamati pada Gambar 5 bahwa penyimpanan massa biogas terkecil terjadi pada penyimpanan pada tabung tanpa karbon aktif yaitu bernilai 30,9. Sedangkan massa penyimpanan biogas dengan tabung berisi karbon aktif mampu menyimpan massa biogas di atas 30,9. Massa penyimpanan biogas tertinggi tercapai pada tabung berisi karbon aktif dengan variasi Tk 725°C. Jadi, secara umum, suhu yang lebih tinggi dalam proses karbonisasi biasanya menghasilkan karbon aktif yang lebih berpori dan memiliki kapasitas penyimpan biogas lebih besar.



Gambar 4. Massa karbon aktif setelah aktivasi pada 425°C



Gambar 5. Massa penyimpanan biogas pada tekanan 100 psi

#### 4. Simpulan

Penyimpanan biogas menggunakan tabung berisi karbon aktif sebagai adsorben mampu menambah kapasitas penyimpanan biogas. Semakin tinggi temperatur karbonisasi, maka semakin tinggi daya serap karbon aktif. Dalam penelitian ini, karbon aktif dengan temperatur karbonisasi tertinggi yaitu 725 °C menyimpan biogas terbanyak yaitu 37,8 g.

#### Ucapan Terima Kasih

Dalam kegiatan penelitian ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Udayana atas pendanaan penelitian skema Penelitian Unggulan Program Studi (PUPS) sesuai dengan kontrak Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Penelitian B/1.794/UN14.4.A/PT.01.03/2023.

#### Daftar Pustaka

- [1] Negara, D.N.K.P., Nindhia T.G.T., Surata, I.W., Sucipta, M., Development and Application of Bamboo Activated Carbons and Their Potency as Adsorbent Material for Adsorbed Natural Gas (ANG), *Key Engineering Materials*, (705), 126 – 130, 2016.
- [2] Mahanim, S., Asma, I. W., Rafidah, J., Puad, E., & Shaharuddin, H., Production of Activated Carbon from Industrial Bamboo Wastes. *Journal of Tropical Forest Science* (45), 417-424, 2011.
- [3] Tumimomor, F., Maddu, A., & Pari, G., Pemanfaatan Karbon Aaktif dari Bambu sebagai Elektroda Superkapasitor. *Jurnal Ilmiah Sains*, 1(17), 74-79, 2017.
- [4] Sucipta, M., Winata, I. M. P. A., Dewi, P. E., Sudarsana, P. B., & Larasati, M. S. P., Development of respirator design for children using bamboo-based activated carbon filter and bipolar ionization. *Alexandria Engineering Journal*, (63), 527–547, 2023.
- [5] Sucipta, M., Negara, D.N.K.P., Nindhia, T.G.T., Surata, I.W., Characteristic of Ampel Bamboo as a Biomass Energy Source Potential in Bali. *Material Science and Engineering*, 201 (1), 012032, 2017.
- [6] Tadda, M. A., Ahsan, A., Shitu, A., Elsergany, M., Arunkumar, T., Jose, B., Abdur Razzaque, M., & Nik Daud, N., A review on activated carbon: process, application and prospects. *Journal of Advanced Civil Engineering Practice and Research*, 1 (2), 7-13, 2016.
- [7] Nurdiansah, H., Susanti, D., Pengaruh Variasi Temperatur Karbonisasi dan Temperatur Aktivasi fisika dari elektroda karbon aktif Tempurung kelapa. *Jurnal Teknik Pomits*, (2), 13–18, 2013.
- [8] Sitompul, I. D., Sucipta, M., & Wijaksana, H., Studi Eksperimental Karakteristik Capillary Pumping Head pada Variasi Temperatur Karbonisasi Karbon Aktif Bambu Betung. *IPTEKMA*, 1 (9), 1-10, 2021.
- [9] Hu, Z., Srinivasan, M. P., & Ni, Y., Novel activation process for preparing highly microporous and mesoporous activated carbons. *Carbon*, 39(6), 877-886, 2001
- [10] Forster, L., D'Agostino, C., Llosa-Tanco, M. A., Spallina, V., Brencio, C., Gallucci, F., & Pacheco-Tanaka, D. A. Tailoring pore structure and surface chemistry of microporous Alumina-Carbon Molecular Sieve Membranes (Al-CMSMs) by altering carbonization temperature for optimal gas separation performance: An investigation using low-field NMR relaxation measurements. *Chemical Engineering Journal*, 424, 129313, 2021.
- [11] Tanco, M. A. L., Tanaka, D. A. P., & Mendes, A. Composite-alumina-carbon molecular sieve membranes prepared from novolac resin and boehmite. Part II: Effect of the carbonization temperature on the gas permeation properties. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(8), 3485-3496, 2015
- [12] Yahya, M. A., Mansor, M. H., Zolkarnaini, W. A. A. W., Rusli, N. S., Aminuddin, A., Mohamad, K., & Ozair, L. N. A brief review on activated carbon derived from agriculture by-product. In *AIP conference proceedings* (Vol. 1972, No. 1). AIP Publishing, 2018.
- [13] Son, Y. R., & Park, S. J. Preparation and characterization of mesoporous activated

- carbons from nonporous hard carbon via enhanced steam activation strategy. *Materials Chemistry and Physics*, 242, 122454, 2020.
- [14] Achaw, O. W. A study of the porosity of activated carbons using the scanning electron microscope. In *Scanning electron microscopy*. IntechOpen, 2012.
- [15] Li, W., Yang, K., Peng, J., Zhang, L., Guo, S., & Xia, H. Effects of carbonization temperatures on characteristics of porosity in coconut shell chars and activated carbons derived from carbonized coconut shell chars. *Industrial crops and products*, 28(2), 190-198, 2008.
- [16] Dini, A., Zandi-Baghche-Maryam, A., & Shariati, M. Effects of van der Waals forces on hydro-thermal vibration and stability of fluid-conveying curved double-walled carbon nanotubes subjected to external magnetic field. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, 106, 156-169, 2019.