

Karakterisasi Karbon Aktif dari Bulu Ayam untuk Aplikasi Penyimpanan Gas Hidrogen (Hydrogen Storage)

Ali Alhamidi^{a,*}, Indar Kustiningsih^b, Irmansyah Poetra^a

^aJurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

^bJurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl. Jendral Sudirman km.03 Cilegon, Banten, 42435

*E-mail: alhamidi@untirta.ac.id

Abstract

One of hydrogen storage production is adsorption method of activated carbon due to large adsorption ability with regard to surface area and porous size. To increase the adsorption of the adsorbent is by making as much as the porosity and matching with the molecular size of hydrogen as adsorbate. High percentage of micropores than macropores and mesopores the absorption ability is increasing. Chicken feathers were previously carbonized for 60 minutes at 400°C to produce carbon. Then, Carbon is activated by mixing carbon with KOH with a ratio of 1: 2. In this study activated carbon is formed into two forms of powder and pellets. On pellet activated carbon, the addition of binders occurs as an adhesive. After the mixing stage, the carbon is activated at a temperature of 400°C, 500°C, 600°C for 60 minutes. The experimental results were then characterized by SEM testing and BET test. The BET test results produced the highest pore surface area produced by powdered activated carbon with a value of 3,257m²/gr and 3.109m²/gr for pellet activated carbon. While the lowest results obtained by pellet form activated carbon were 1,47m²/gr and 0,796 for powdered activated carbon. In the SEM test, there was a difference between carbon before activation and after activation, which was seen as an open pore after activated carbon.

Keywords: Chicken feathers, Activated carbon, Activation chemically, adsorption, Micropore, pore surface area.

Abstrak

Salah satu alternatif penyimpanan hidrogen adalah dengan metode adsorpsi menggunakan karbon aktif karena memiliki kemampuan adsorpsi yang yang besar berkaitan dengan luas permukaan dan ukuran porinya. Untuk meningkatkan daya adsorpsi dari adsorben dapat dilakukan dengan menjadikan sebanyak mungkin porinya yang termasuk kategori micropori sehingga sesuai dengan ukuran molekul hidrogen sebagai adsorbate. Dengan semakin besarnya prosentase mikropori yang dimiliki dibandingkan makropori dan mesoporinya, maka kemampuan adsorpsi dari adsorben tersebut diharapkan akan meningkat. Penelitian ini menggunakan material bulu ayam sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif. Bulu ayam sebelumnya dikarbonisasi dahulu selama 60 menit pada suhu 400°C hingga terbentuk arang/karbon. Karbon kemudian diaktivasi secara kimia yaitu dengan cara mencampurkan karbon dengan KOH dengan perbandingan 1:2. Dalam penelitian ini karbon aktif dibentuk menjadi dua yaitu bentuk serbuk dan pellet. Pada karbon aktif pellet terjadi penambahan binder sebagai perekat. Setelah tahap pencampuran, karbon kemudian diaktivasi pada temperatur 400°C, 500°C, 600°C selama 60 menit. Hasil percobaan kemudian dikarakterisasi dengan pengujian SEM dan uji BET. Hasil pengujian BET menghasilkan luas permukaan pori tertinggi dihasilkan oleh karbon aktif serbuk dengan nilai 3,257 m²/g dan 3,109 m²/g untuk karbon aktif pellet. Sedangkan hasil terendah didapat karbon aktif bentuk pellet sebesar 1,47 m²/g dan 0,796 untuk karbon aktif serbuk. Pada uji SEM terlihat perbedaan anatar karbon sebelum aktivasi dan sesudah aktivasi yaitu terlihat pori yang terbuka setelah karbon diaktivasi.

Kata kunci: Bulu ayam, Karbon aktif, Aktivasi kimia, Adsorpsi, Mikropori, Luas permukaan pori

1. Pendahuluan

Hidrogen adalah unsur yang melimpah dialam dengan persentase mencapai 75% dari total massa unsur alam semesta. Banyak manfaat dari hidrogen salah satunya untuk pengganti energi minyak bumi yang ada pada masa sekarang ini. Energi yang dihasilkan oleh hidrogen lebih baik dibandingkan dengan energi yang dihasilkan oleh minyak bumi [1].

Pembakaran hidrogen mempunyai nilai kalori tiga kali lebih tinggi dibandingkan dengan minyak bumi dan tidak menghasilkan emisi gas CO seperti minyak bumi[2]. Hadirnya gas CO yang terbuang di udara tidak diinginkan karena

akan mengikis dan menipiskan lapisan ozon sehingga mengakibatkan pemanasan global (*global warming*) [1]. Reaksi pembakaran hidrogen menghasilkan energi panas dan H₂O. Banyak berbagai macam cara untuk menghasilkan hidrogen seperti elektrolisis air, proses gasifikasi batubara, dan *steam methane reforming* [3]. Walaupun memiliki banyak keunggulan hidrogen juga memiliki kekurangan yaitu sangat sensitif dan mudah meledak apabila disimpan pada temperatur ruang.

Hidrogen pada temperatur ruang dan tekanan atmosfer berbentuk gas. Oleh karena itu dibutuhkan material yang mampu menyerap dan mengurangi tekanan gas hidrogen sehingga dapat disimpan dengan aman meskipun disimpan pada temperatur ruang. Berbagai teknologi penyimpanan gas hidrogen telah dikembangkan seperti tangki bertekanan tinggi, tangki hidrogen cair, dan tangki dari logam berpori. Namun kelemahan dari teknologi tersebut adalah biaya yang sangat mahal serta butuh tekanan yang tinggi dalam pengoperasiannya [1]. Muncul gagasan baru untuk mencari bahan pembuat tangki hidrogen yang murah dan ramah lingkungan yaitu dengan material berpori dengan metode adsorpsi. Penelitian ini berkaitan dengan material yang digunakan sebagai bahan pembuat hydrogen storage. Dalam pembuatan material *hydrogen storage* menggunakan prinsip adsorpsi dengan karbon aktif sebagai adsorben yang bisa menurunkan tekanan dalam tangki dengan kapasitas penyimpanan dan tekanan yang sama [4]. Material tersebut dapat menyimpan hidrogen secara signifikan pada tekanan rendah 0,1- 4 MPa[2].

Material yang digunakan sebagai bahan pembuatan karbon aktif pada penelitian ini adalah dengan menggunakan bulu ayam. Bulu ayam mengandung serat keratin, sebuah protein yang berfungsi membentuk tabung – tabung kuat didalamnya. Saat dipanaskan keratin yang ada pada bulu ayam akan menyerupai bentuk carbon nanotube [5]. Pada penelitian ini karbon aktif bulu ayam dibuat dengan cara dipanaskan pada temperatur 390^oC – 400^oC pada ruang tertutup dengan udara yang terbatas selama 60 menit sehingga menghasilkan arang atau karbon [2]. Selanjutnya karbon diaktivasi dengan cara kimia yaitu dengan merendam karbon pada larutan KOH selama 60 menit pada suhu 90^oC. Dengan metode karbon aktif hidrogen dapat disimpan dengan kapasitas yang cukup besar, ekonomis, mudah didapat dan ramah lingkungan [6,7].

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat dan membandingkan karbon aktif yang terbuat dari bulu ayam sebagai bahan penyimpan hidrogen (*hydrogen storage*) dengan melakukan karakterisasi melalui variasi temperatur aktifasi terhadap *yield* karbon aktif dan luas permukaan dan distribusi pori.

2. Material dan metode penelitian

Material yang digunakan sebagai bahan pembuatan karbon aktif ialah bulu ayam jenis broiler yang diperoleh dari tempat pemotongan ayam. Bulu ayam sebelumnya dicuci bersih kemudian dikeringkan dengan menggunakan oven. Bulu ayam dikarbonisasi secara konvensional yaitu dengan menggunakan kaleng pembakaran dengan kondisi udara mengalir. Sebanyak 50 gram bulu ayam dimasukkan kedalam kaleng pembakaran dan dikarbonisasi hingga temperatur 400^oC selama 1 jam. Hasil dari karbonisasi berupa arang atau karbon yang kemudian diayak dengan ukuran 125# supaya berbentuk partikel. Karbon kemudian diimpregnasi dengan KOH dengan perbandingan 1:2 pada temperatur 90^oC selama 1 jam.

Hasil impregnasi kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100^oC selama 24 jam. Pada penelitian ini karbon aktif dibuat menjadi dua jenis yaitu serbuk dan pellet. Karbon aktif pellet dibentuk dengan menggunakan binder dextrin dengan perbandingan 4:1 dan dicetak dengan menggunakan silinder baja karbon tinggi dan ditekan dengan penekan hidrolik dengan tekanan 500 Psi dan ditahan selama 1 menit. Karbon kemudian dipanaskan didalam *tube furnace* dengan variasi temperatur 400^oC, 500^oC, 600^oC selama 1 jam dengan aliran gas argon didalamnya. Proses pendinginan dilakukan didalam tube furnace hingga temperatur ruang dengan tetap dialiri gas argon selama 3 jam. Karbon kemudian dicuci dengan menggunakan HCL 0,5 M dan aquades berkali-kali hingga pH netral. Karbon kemudian dikeringkan kembali dengan menggunakan oven pada suhu 100^oC selama 24 jam. Karakterisasi sample menggunakan analisa BET untuk mengetahui luas permukaan pori karbon aktif dan distribusi pori dan pengamatan morfologi karbon aktif dengan menggunakan scanning electron microscopy.

3. Hasil dan pembahasan

Proses karbonisasi dilakukan sebanyak sepuluh kali dengan berat 50 gram bulu ayam untuk setiap kali pembakaran. Proses karbonisasi dilakukan secara bertahap hingga mencapai temperatur 400^oC.

Pada saat dipanaskan keratin yang ada pada bulu ayam akan menyerupai bentuk carbon nanotube [5]. Ketika laju pemanasan (50^oC/min) struktur serat dari bulu ayam akan hancur dan meleleh seluruhnya. Selama pemanasan cepat ikatan disulfida akan rusak dan disaat bersamaan terbentuk reaksi *cross linking* seperti pembentukan iso peptida. Pada temperatur diatas 250^oC protein akan mengarang berubah kedalam karakter aromatik karbon [21]. Proses karbonisasi mengeluarkan banyak asap sebagai indikasi bahwa senyawa-senyawa volatile yang terkandung pada bulu ayam menguap.

Proses karbonisasi selesai ketika bulu ayam sudah sepenuhnya berubah warna menjadi hitam dan hanya sedikit asap yang keluar. Hal ini menandakan bahwa arang sudah terbentuk dan senyawa-senyawa volatile sudah menguap. Dari data pengukuran massa di atas, diperoleh hasil rata-rata *yield* arang sebesar 23,7 % dari massa awal ampas tebu yang digunakan pada proses karbonisasi yang dilakukan. Hasil rata-rata *yield* ini tidak terlalu bagus karena dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Kamil (2012) kandungan karbon yang dihasilkan oleh bulu ayam sebesar 60,6 %. Hal

ini disebabkan pada saat proses karbonisasi suasana tidak dalam keadaan inert, sehingga udara dari luar dapat masuk

Massa Bulu Ayam (gr)	Massa Arang (gr)	Massa yang Hilang (gr)	Persen massa hilang (%)	Yield arang (%)
50	12,3	37,7	75,4	24,6
50	11,6	38,4	76,8	23,2
50	10,9	39,1	78,2	21,8
50	11,1	38,9	77,8	22,2
50	12,5	37,5	75	25
50	12,2	37,8	75,6	24,4
50	11,9	38,1	76,2	23,8
50	11,4	38,6	77,2	22,8
50	12,6	37,4	74,8	25,2
50	12,1	37,9	75,8	24,2
Rata – rata				23,7 %

kedalam kaleng pembakaran.

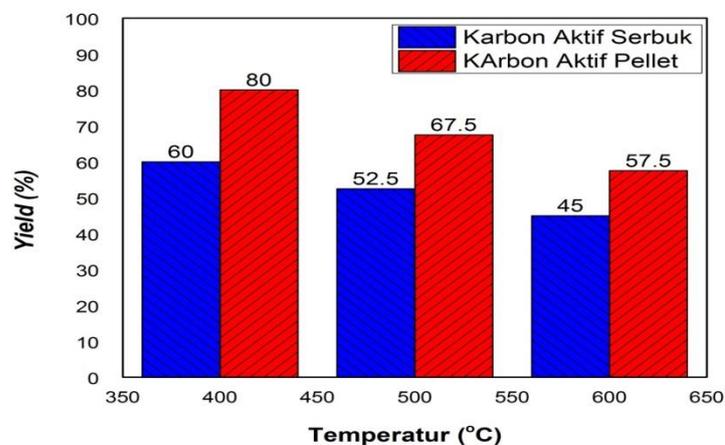
Tabel 1. Yield arang bulu ayam

3.1. Pengaruh Temperatur aktivasi terhadap Yield karbon aktif

Temperatur aktivasi memainkan peranan penting terhadap yield karbon aktif. **Tabel 2** menunjukkan perubahan massa yang terjadi selama proses aktivasi.

Tabel 2 Perubahan Massa Sebelum dan Sesudah Aktivasi

Bentuk Karbon	Temperatur (°C)	Mo (gr)	M1 (gr)	yield (%)
Serbuk	400	4	2,4	60
	500	4	2,1	52,5
	600	4	1,8	45
Pellet	400	4	3,2	80
	500	4	2,7	67,5
	600	4	2,3	57,5



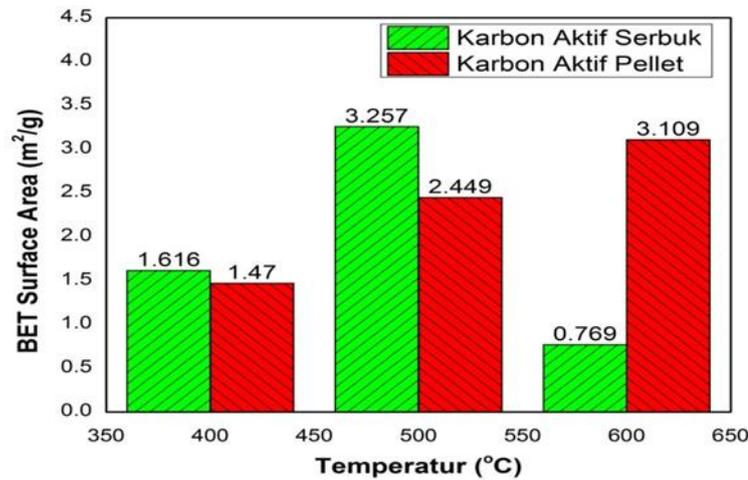
Gambar 1. Pengaruh temperatur aktivasi terhadap yield karbon aktif.

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa yield karbon aktif mengalami penurunan seiring bertambahnya temperatur aktivasi. Hal ini terjadi karena semakin tinggi suhu aktivasi, pemanasan semakin besar, karbon semakin terkikis akibat semakin banyak terjadi reaksi antara karbon dengan KOH sehingga hasil reaksi pun semakin banyak yang keluar dari

karbon aktif [23]. Selain berfungsi sebagai aktivasi, temperatur yang tinggi juga dapat membantu mengeluarkan zat – zat volatile yang kemungkinan masih menempel dipermukaan karbon.

3.2. Karakterisasi BET

Luas permukaan karbon aktif merupakan salah satu aspek penting dalam pemilihan karbon aktif yang berkualitas. Karbon aktif dengan luas permukaan yang tinggi merupakan adsorben yang potensial untuk penggunaannya pada proses adsorpsi. Sebelum dianalisis sampel karbon di-degassing terlebih dahulu untuk menghilangkan kontaminasi gas pada mikropori karbon aktif. Hasil pengujian luas permukaan karbon aktif pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3** berikut.



Gambar 2. Grafik hubungan temperatur dengan luas permukaan

Hasil pengujian luas permukaan karbon aktif pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2. Dari hasil pengujian luas permukaan karbon aktif dapat dilihat bahwa luas permukaan tertinggi diperoleh dari karbon aktif berbentuk serbuk pada suhu 500°C selama 60 menit yaitu sebesar 3,257 m²/gr. Sedangkan hasil terendah didapatkan dari karbon aktif berbentuk serbuk pada suhu 600°C selama 60 menit yaitu sebesar 0,796 m²/gr. Sementara untuk karbon aktif berbentuk pellet luas permukaan tertinggi didapat pada suhu 600°C selama 60 menit yaitu sebesar 3,109 m²/gr. sedangkan hasil terendah pada karbon aktif berbentuk pellet sebesar 1,47 m²/gr. Efek dari temperatur aktivasi menunjukkan hasil yang cukup signifikan, dimana dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya temperatur aktivasi maka luas permukaan pori semakin bertambah. Hal ini dikarenakan zat – zat volatile ikut menguap seiring bertambahnya temperatur sehingga pori yang tertutup menjadi terbuka. Selain itu juga ada pengaruh reaksi antara karbon dan activating agent yaitu KOH [26].



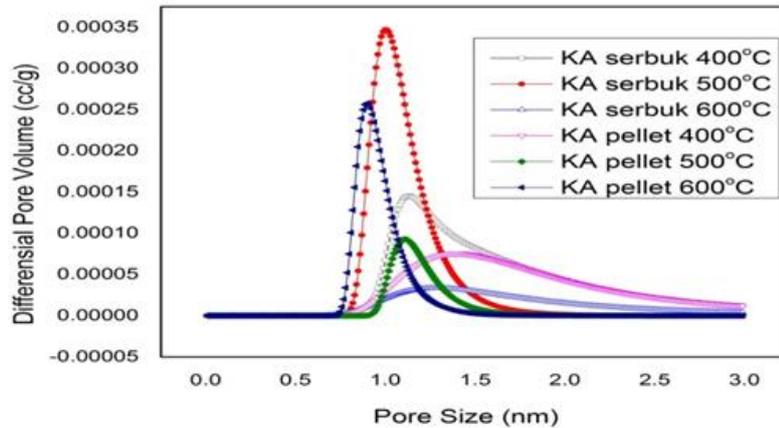
Dari hasil pengujian ini dapat dilihat bahwa temperatur aktivasi mempengaruhi luas permukaan pori karbon aktif. Semakin tinggi temperatur aktivasi, semakin tinggi pula luas permukaan pori yang dihasilkan. Hal ini karena adanya pembentukan micropori baru [23]. Pada suhu 600°C karbon aktif serbuk mengalami penurunan luas permukaan yaitu menjadi 0,769 m²/gr. Menurut Teng, et al, 2000 pada suhu yang terlalu tinggi akan berakibat pecahnya cross-link pada matriks karbon dan pori akan collapse. Hal inilah yang membuat luas permukaan menjadi menurun. Pada karbon berbentuk pellet, perlakuan pada karbon berbeda dengan karbon aktif berbentuk serbuk. Pada karbon aktif pellet, terjadi penambahan binder sebagai perekat. Binder yang digunakan adalah dextrin, yang merupakan modifikasi dari tepung pati. Pada suhu 600°C luas permukaan bertambah yaitu 3,109 m²/gr berbeda dengan karbon aktif serbuk yang menurun. Hal ini bisa diakibatkan karena adanya penambahan karbon yang berasal dari dextrin. Dextrin mempunyai rumus kimia (C₆H₁₀O₅)_n [24]. Pada suhu yang tinggi dextrin ikut melebur menjadi karbon. Selain itu juga pellet mempunyai sifat padat dan keras. Pada saat pemanasan proses penguapan yang terjadi pada pellet lebih lambat dibandingkan dengan karbon serbuk. Sehingga rusaknya matriks karbon akan terhambat oleh sifat pellet yang padat dan keras.

Pada karbon aktif pellet pada suhu 400°C dan 500°C memiliki luas permukaan lebih kecil dibanding dengan karbon aktif serbuk. Hal ini bisa diakibatkan karena penggunaan binder. Menurut Inomata *et al.*, 2002 karbon aktif pellet mempunyai kelebihan yaitu memiliki bulk density 2,3 kali lebih tinggi dibanding karbon .aktif serbuk, namun karena adanya binder dapat mengakibatkan tertutupnya micropori adsorben. Pada saat proses pemanasan, binder tidak sepenuhnya menguap sehingga dapat menutupi pori yang terbentuk. Sehingga menghasilkan luas permukaan pori yang rendah. Selain itu juga bentuk karbon aktif sangat berpengaruh terhadap luas permukaan yang dihasilkan. Karbon pellet

mempunyai sifat yang padat dan keras dibandingkan dengan karbon serbuk yang hanya berupa partikel-partikel kecil. Dikarenakan sifatnya yang padat maka karbon pellet saat dipanaskan akan sulit mengeluarkan zat-zat pengotor yang ada pada karbon, berbeda dengan karbon serbuk akan sangat mudah mengeluarkan zat-zat pengotor. Luas permukaan yang kecil bisa juga diakibatkan karena proses pencucian karbon aktif setelah pemanasan. Karbon aktif hasil pemanasan masih terdapat sisa – sisa agen pengaktif sehingga perlu dibuang supaya tidak menutupi pori. Proses pencucian yang tidak sempurna akan menyumbat pori yang sudah terbentuk, sehingga pada saat proses pengujian hasilnya tidak optimal.

3.3. Distribusi Pori Karbon Aktif

Heterogenitas material berpori pada umumnya ditandai dengan distribusi pori.

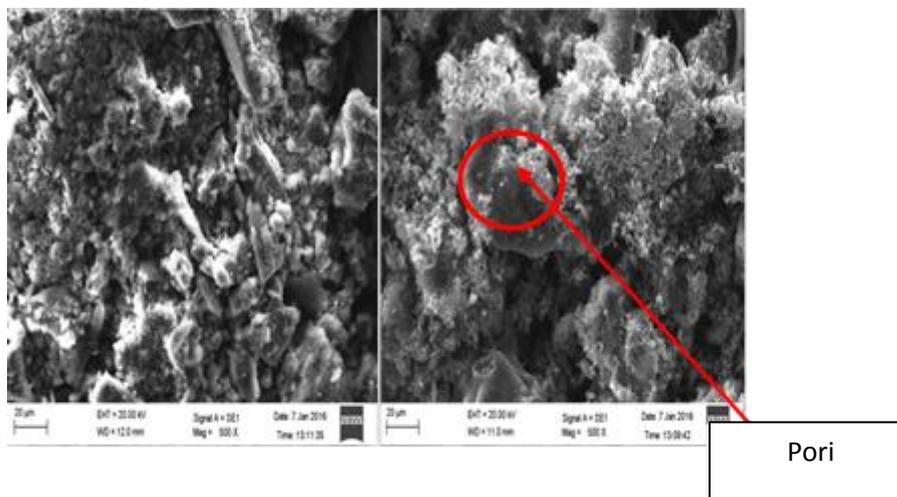


Gambar 3 Distribusi Pori Karbon Aktif

Diferensial pore volume (sumbu y) menggambarkan fraksi dari jumlah pori. Pada Gambar 3 dapat terlihat bahwa penyebaran pori karbon aktif memiliki heterogenitas pori, mulai dari mikropori, mesopori, dan makropori. Pembagian pori dibagi menjadi tiga yaitu : mikropori (< 2 nm), mesopori (2 nm– 50 nm), dan makropori (> 50 nm) [13]. Pada karbon aktif serbuk yang diaktivasi pada suhu 500°C memiliki distribusi pori yang paling bagus. Dapat terlihat dari peak yang dihasilkan tinggi dibanding yang lainnya. Ukuran pori karbon aktif serbuk 500°C berkisar antara 0,7 – 1,4 nm dan memiliki fraksi jumlah pori yang cukup banyak. Hal ini sesuai dengan hasil uji BET, pada karbon aktif serbuk yang diaktivasi pada suhu 500°C memiliki luas permukaan yang paling tinggi. Hal ini menandakan bahwa untuk menghasilkan luas permukaan yang tinggi maka dibutuhkan mikropori sebanyak mungkin.

3.4. Hasil karakterisasi dengan Scanning Electron Microscopy

Morfologi permukaan dikarakteristikan untuk mengetahui distribusi pori karbon aktif. Adapun hasil dari pengujian dengan menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Perbandingan Karbon a). Sebelum Aktivasi dan b). Sesudah Aktivasi

Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa karbon aktif yang belum diaktivasi mempunyai permukaan pori dengan rongga kecil dan rapat. Ukuran rongga yang kecil dan rapat ini, disebabkan oleh masih adanya bahan mudah terbang masih menempel pada permukaan karbon sehingga menutupi rongga pori. Oleh karena itu perlu diaktivasi supaya bahan mudah terbang tersebut terbuka sehingga tidak menutupi pori. Aktivasi pada penelitian ini menggunakan cara kimia yaitu dengan cara karbon diimpregnasi dengan larutan KOH.

Aktivasi menyebabkan semakin banyaknya bahan mudah terbang terlepas dari arang sehingga menyebabkan terbukanya struktur yang tersisa yang berakibat pada pembentukan pori. Aktivasi arang menjadi arang aktif ternyata telah mampu membuka pori-pori kecil dan mengurangi penutupan hidrokarbon pada permukaan arang. Pembentukan dan pembesaran pori disebabkan oleh penguapan komponen yang terdegradasi dan lepasnya zat terbang. Dengan berkurangnya senyawa hidrokarbon maka pori pada permukaan arang aktif semakin jelas terlihat [13].

4. Kesimpulan

Bulu ayam merupakan bahan yang melimpah yang dapat digunakan sebagai bahan pembuatan hydrogen storage. Dari hasil percobaan temperatur aktivasi mempengaruhi yield karbon aktif. Semakin tinggi temperatur aktivasi maka yield yang dihasilkan semakin rendah. Luas permukaan juga dipengaruhi oleh temperatur, semakin tinggi temperatur maka luas permukaannya semakin besar. Hasil luas permukaan tertinggi pada penelitian ini dihasilkan dari karbon aktif serbuk dengan nilai sebesar 3,275 m²/gr dan karbon aktif pellet sebesar 3,109 m²/gr. Sedangkan untuk hasil luas permukaan terendah adalah 0,796 m²/gr untuk karbon serbuk dan karbon aktif pellet dengan nilai sebesar 1,47 m²/gr. Hal terpenting dari bulu ayam ialah harganya yang murah serta melimpah karena merupakan limbah dan hanya membutuhkan temperatur perlakuan panas yang relatif rendah menjadi menarik pilihan masa depan untuk mengatasi permasalahan penyimpanan hidrogen.

Referensi

- [1] Jauhari, A., 2012, "Pengembangan Adsorben Hidrogen Storage Untuk Aplikasi Fuel Cell Dalam Bentuk Padatan Partikel Nano Karbon Aktif Dengan Bahan Pengikat Liquida Lignoselulosa", Tesis FTUI, Depok.
- [2] Senoz, E., Wool, R.P., 2010, "Hydrogen storage on pyrolyzed chicken feather fibers". University of Delaware, Newark, DE 19716, USA.
- [3] Lipman, T., 2011, "An Overview Hydrogen Production And Storage System With Renewable Hydrogen Case Studies". USA.
- [4] Awasthia, K., Kamalakaran, R., Singha, A.K., Srivastava, O.N., 2002, "Ballmilled Carbon and Hydrogen Storage". *Inter. J. Hydro.En.* 27 425–432.
- [5] Giraldo, L., et al. 2013, "Exploring the use of rachis of chicken feathers for hydrogen storage". *Facultad de Ciencias, Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia, Colombia.*
- [6] Teng, H., et al., 2000, "Production of Activated Carbons from Pyrolysis of Waste Tires Impregnated with Potassium Hydroxide". Department of Chemical Engineering, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan.
- [7] Wang et al., 2013, "Coconut-based activated carbon," *Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, P. R. China* 8(4): 6184-6195.
- [8] Abe, I., 2007, "Physical and chemical Properties of Hydrogen". Office Terra, Japan.
- [9] Huihu, W., J.L., Dong, S.J., Chang, Y., and Fu Y.G., Ping Luo, "Preparation and Hydrolysis of Aluminum Based Composite for Hydrogen Production in
- [10] US DOE., 2009, "Targets for Onboard Hydrogen Storage Systems for Light-Duty Vehicles". United States.
- [11] Chodijah, S., 2011, "Pemanfaatan Arang Batok Kelapa Dan Batubara Sebagai Karbon Aktif Untuk Penyimpanan Hidrogen". Tesis FTUI, Depok.
- [12] Zhou. L. (2004). "Progress and problems in hydrogen storage methods". High Pressure Adsorption Laboratory, School of Chemical Engineering and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China.
- [13] Marsh, H., and Francisco R.R., 2006, "Activated Carbon". Elsevier Ltd, London UK, 13-30.
- [14] Hirscher, M., and Panella, B., 2011, "Nanostructures with high surface area for hydrogen storage". *J. Alloys. Comp.* 404–406. 399–401.
- [15] Walter, J., and Jr. Weber., 1973, "Adsorption Process". The University Of Michigan, College Of Engineering, 375-392.
- [16] Teng, H., Hsu, L., Lin, X., 2000, "High – Porosity Carbons prepared From Bituminous Coal With Potassium Hydroxide Activation". Department of Chemical Engineering, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan.
- [17] Teng, H., Hsu, L., 2000, "Influence of Different Chemical Reagents on the Preparation of Activated Carbon from Bituminous Coal", *Fuel Processing Technology* 64 : 155-166.
- [18] Sugumaran P., Priya Susan V., Ravichandran P., and Seshadri, S., 2012., Production and Characterization of Activated Carbon from Banana Empty Fruit Bunch and Delonix regia Fruit Pod. Department of Biotechnology, Karunya University, Coimbatore – 641 114, TamilNadu, India
- [19] Niemann, Michael, U., Sessa, S., Srinivasan., Ayala R. Phani., Ashok Kumar., Yogi Goswami, D., Elias K. Stefanakos. 2008, "A Review Nanomaterials for hydrogen storage applications". Hindawi Publishing Corporation *Journal of Nanomaterials*, 950967:1-9.

- [20] Dinesh, S., 2011, "Theses of Development And Characterization Of Pelet Activated Carbon From New Precursor". Department Of Chemical Engineering National Institute Of Technology Rourkela.
- [21] Shofa., 2012, "Pembuatan Karbon Aktif dari Ampas Tebu dengan Aktivasi Kimia KOH ". Skripsi. Depok : Universitas Indonesia.
- [22] Derivation of the Langmuir and BET Isotherms (<http://www.jhu.edu/chem/fairbr/OLDS/derive.html>)
- [23] Ladavos, A.K. et.al., 2012, "The BET equation, the inflection points of N₂ adsorption isotherms and the estimation of specific surface area of porous solids". Department of Chemistry, Northwestern University, Evanston, IL 60208, USA.
- [24] Senoz, E., Wool, R.P., Christopher W.J. McChalicher, Chang K. Hong., 2012, "Physical and chemical changes in feather keratin during pyrolysis". Department of Chemical Engineering and Center for Composite Materials, University of Delaware, Newark, DE 19716, USA.
- [25] Kamil, K., Jan Krzysztoforski, Konrad Bajera, Marek Dudnsk., 2012, "Bioenergy from waste feathers gasification performance and efficiency analysis". Modern Technologies and Filtration, Mokotowska 40/21, 00-543 Warsaw.
- [26] Kalderis, D., Koutoulakis, D., 2008, "Adsorption of Polluting Substances on Activated Carbons Prepared from Rice Husk and Sugarcane Bagasse". Chemical Engineering Journal 144(1) : 42-50.
- [27] Lillo-Rodenas, M.A., Amoros-Cazorla, D., Solano-Linares, A., 2003, "Understanding Chemical Reaction Between Carbon and NaOH and KOH An Insight into the Chemical Activation Mechanism". Carbon 41 : 267-275.
- [28] Pudisatuti, L., Pratiwi, T., 2013, "Pembuatan Dekstrin Dari Tepung Tapioka Secara Enzimatis Dengan Pemanas Microwave". Jurnal Teknologi Kimia dan Industri, UNDIP.
- [29] Inomata K., Kanazawa, k., Urabe, Y., Hosono, H., Araki, T., 2012, "Natural gas storage in activated carbon pellets without a binder". Frontier Technology Laboratory, Tokyo Gas Co. Ltd., 1-7-7 Suehiro, Tsurumi, Yokohama, Kanagawa, 230-0045, Japan.