

Submitted : 9 January 2017

Revised : 27 February 2017

Accepted : 21 March 2017

REVIEW: SINTESIS KARBON AKTIF DENGAN MENGGUNAKAN AKTIVASI KIMIA $ZnCl_2$

Hans Kristianto^{1*}

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan,
Jl. Ciumbuleuit 94, Bandung 40141, Indonesia

*Email: hans.kristianto@unpar.ac.id

Abstrak

Karbon aktif merupakan material karbon yang berpori dengan luas permukaan yang besar sehingga banyak digunakan untuk berbagai aplikasi. Karbon aktif dapat disintesis dari batu bara antrasit atau pun bituminous, akan tetapi penggunaan biomassa sebagai bahan baku karbon aktif semakin banyak diteliti. Secara umum, pembuatan karbon aktif terdiri atas karbonisasi dan aktivasi secara fisika atau pun kimia. Pada review ini dibahas proses aktivasi kimia dengan menggunakan agen aktivasi $ZnCl_2$. Dalam proses aktivasi, $ZnCl_2$ berfungsi menghambat pembentukan tar, serta mendorong terjadinya aromatisasi sehingga menghasilkan produk karbon aktif yang berpori. Rasio $ZnCl_2$ terhadap biomassa dan temperatur karbonisasi merupakan variabel yang berpengaruh terhadap luas permukaan karbon aktif yang diperoleh, sementara waktu karbonisasi cenderung tidak berpengaruh. Penelitian terbaru banyak berfokus pada eksplorasi penggunaan berbagai biomassa, penggunaan gelombang mikro sebagai pemanasan alternatif, serta penggunaan agen aktivasi pembantu dalam aktivasi karbon aktif. Pengambilan kembali agen aktivasi juga perlu diteliti lebih lanjut untuk menjamin sisi ekonomis proses pembuatan karbon aktif dengan aktivasi kimia.

Kata Kunci: Aktivasi Kimia, Karbon Aktif, $ZnCl_2$

Abstract

Activated carbon is a carbon material with porous structure and high surface area. Because of these properties, activated carbon is frequently used for many applications. Activated carbon can be synthesized from anthracite or bituminous coal, however many researches have been done to explore activated carbon synthesized from biomass. Generally activated carbon is obtained from carbonization and physical or chemical activation. In this review, we discussed activated carbon synthesis using $ZnCl_2$ chemical activation process. During activation, $ZnCl_2$ inhibits tar formation and catalyses aromatization process. $ZnCl_2$ to biomass mass ratio and carbonization temperature are significant to activated carbon's surface area, however, carbonization time is not significant. Recent researches focus on exploration of various biomass as precursor for activated carbon synthesis, alternative heating using microwaves, and assisting activating agent utilization in activated carbon synthesis. Furthermore, recovery of activating agent should be considered, thus making the synthesis process is economically feasible.

Keywords: Activated carbon, Chemical activation, $ZnCl_2$

1. PENDAHULUAN

Karbon aktif merupakan ruang (*porosity*) yang diselubungi oleh senyawa karbon (Marsh dan Rodriguez-Renioso, 2006). Karbon aktif juga dapat didefinisikan sebagai senyawa karbon amorf yang memiliki porositas serta luas area yang tinggi, antara 500-2.000m²/g (Bansal dan Goyal, 2005). Karena strukturnya yang berpori inilah, karbon aktif banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti adsorben zat warna (Bouguettoucha dkk., 2016; Doke dkk., 2016), adsorben logam berat (Chen dkk., 2016; Pap dkk., 2016), adsorben gas (Syed-Hassan dan Zaini, 2016), *support* katalis, elektroda superkapasitor (Arie dkk., 2014; Teo dkk., 2016), dan lain-lain. Karbon aktif dapat disintesis dari batu bara antrasit atau pun bituminous, akan tetapi biomassa yang tersusun atas lignoselulosa menjadi salah satu bahan baku yang banyak diteliti belakangan ini. Beberapa biomassa yang dimanfaatkan seperti tempurung kelapa (Azevedo dkk., 2007), kulit buah-buahan (Prahastika dkk., 2008; Chandra dkk., 2009; Ahmad dan Alrozi, 2011; Ahmad dkk., 2012; Foo dan Hameed, 2012), biji buah-buahan (Olivares-Marin dkk., 2006; Ubago-Perez dkk., 2006; Ucar dkk., 2009), kulit biji-bijian (Ahmadpour dan Do, 1997; Li dkk., 2011; Elmouwahidi dkk., 2012), dan lain-lain. Sintesis karbon aktif dari biomassa sendiri dapat dilakukan dengan aktivasi fisika (dua tahap) menggunakan kukus atau pun gas CO₂ pada temperatur tinggi, atau pun aktivasi kimia (satu tahap) dengan menggunakan bahan kimia sebagai agen aktivasi untuk membentuk struktur pori-pori (Yahya dkk., 2015). Beberapa jenis agen aktivasi yang umum digunakan adalah H₃PO₄, KOH, dan ZnCl₂. Penggunaan masing-masing agen aktivasi dalam sintesis karbon aktif memiliki mekanisme aktivasi yang berbeda, dengan karakteristik karbon aktif yang dihasilkan berbeda pula. Pada kajian teori ini, akan dibahas mengenai mekanisme aktivasi kimia dengan menggunakan bahan aktivasi ZnCl₂, penelitian terbaru, dan tantangannya ke depan.

2. MEKANISME AKTIVASI ZnCl₂

Secara umum, sintesis karbon aktif dari biomassa dengan menggunakan aktivasi kimia terdiri dari beberapa tahap, yaitu pencucian dan pengeringan, pengecilan ukuran, perendaman dengan agen aktivasi (impregnasi) yang diikuti pengeringan, karbonisasi, pencucian, dan pengeringan.

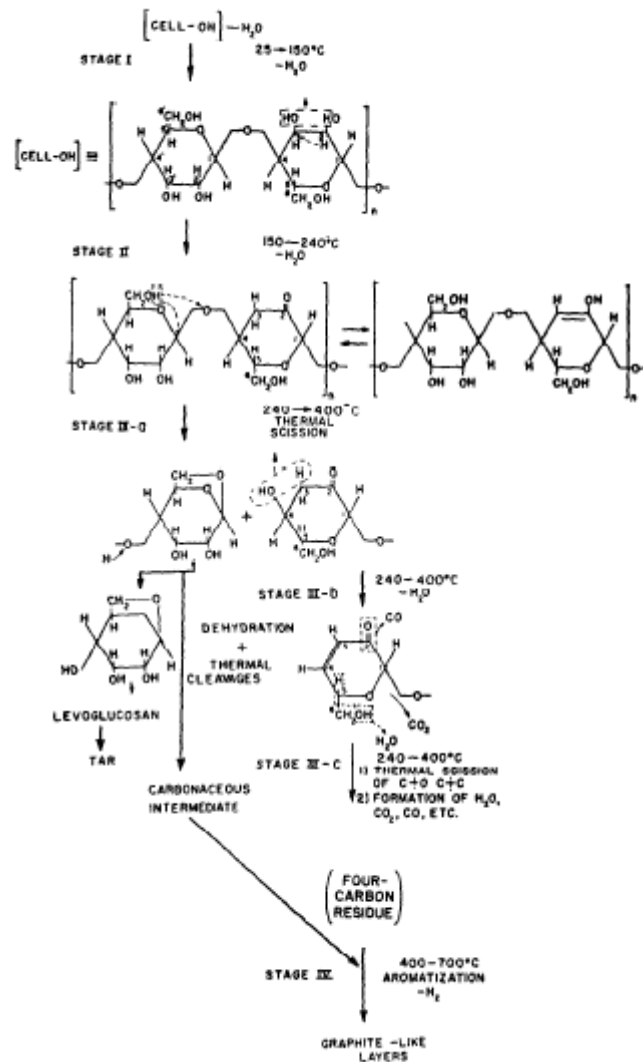
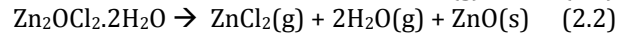
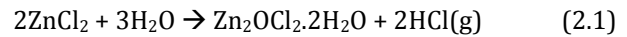
Dalam proses impregnasi yang diikuti pengeringan, ZnCl₂ mendehidrasi biomassa yang ditandai dengan perubahan warna menjadi kehitaman dan tekstur campuran yang menjadi lengket (Karimnezhad dkk., 2014). Selama proses karbonisasi, ZnCl₂ juga berfungsi sebagai agen dehidrasi, menghambat pembentukan tar, dan juga mengarahkan reaksi pembentukan char pada temperatur di bawah 500°C (Liu dkk., 2016). Menurut Allothman, dkk. (2011), ZnCl₂ berfungsi sebagai asam Lewis yang meningkatkan terjadinya reaksi kondensasi aromatik (polimerisasi), dan menghambat pembentukan senyawa volatil, sehingga meningkatkan perolehan karbon aktif (Allothman dkk., 2011). Hal ini lah yang

menyebabkan perolehan karbon aktif pada sintesis dengan menggunakan ZnCl₂ lebih besar dibandingkan dengan KOH. Hal ini disebabkan karena KOH bersifat sebagai katalis yang mendorong reaksi oksidasi biomassa pada proses karbonisasi (Yang dan Lua, 2003; Sudaryanto dkk., 2006).

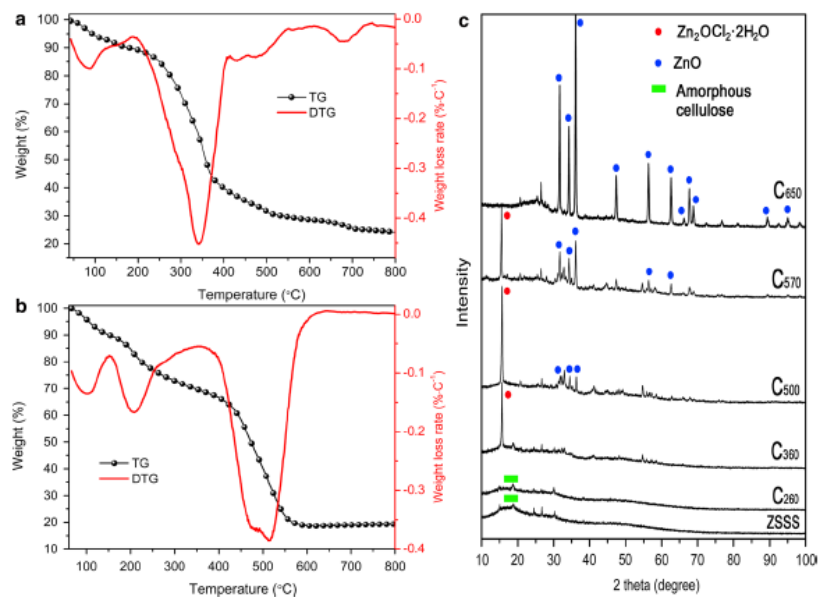
Mekanisme dekomposisi selulosa telah diteliti secara mendetil oleh Tang dan Bacon (1964). Skema dekomposisi selulosa disajikan pada gambar 1. Secara umum terjadi 4 tahap berdasarkan rentang temperturnya. Tahap 1 terjadi pada temperatur 25-150°C di mana terjadi penguapan air yang merupakan proses reversible. Tahap 2 pada temperatur 150-240°C, di mana terjadi dehidrasi dari selulosa yang memungkinkan terjadinya ikatan silang antar molekul gula untuk menggantikan ikatan hidrogen (Tang dan Bacon, 1964). Tahap 3 (240-400°C) merupakan tahap degradasi termal, di mana terjadi pemutusan ikatan C-O dan C-C pada struktur selulosa. Pada tahap ini, terbentuk levoglucosan yang lebih lanjut menjadi tar, selain terbentuk pula produk gas H₂O, CO, dan CO₂. Sebagian produk degradasi termal ini juga berupa senyawa dengan 4 atom karbon yang merupakan pembentuk struktur graphite yang terjadi pada tahap 4, yaitu aromatisasi dan polimerisasi. Reaksi tersebut bereaksi secara radikal. Mekanisme serupa juga terjadi untuk bahan lignoselulosa (jamur shitake) yang diteliti oleh Ma, dkk (2015). Hasil tersebut disajikan dalam grafik TGA-DTG yang disajikan pada gambar 2 a. Dapat dilihat bahwa terdapat penguapan air dan volatil pada temperatur di bawah 200°C, kemudian dekomposisi selulosa dan hemiselulosa pada temperatur 225-400°C, dan dekomposisi lignin dan pembentukan *char* pada temperatur di atas 400°C. Proses degradasi yang berbeda terjadi pada saat penambahan ZnCl₂ sebagai agen aktivasi. Teramati terjadi penguapan air pada temperatur di bawah 150°C, dan degradasi perlahan lignoselulosa yang terjadi pada temperatur antara 150-260°C. Temperatur degradasi yang teramati lebih rendah dibandingkan tanpa kehadiran ZnCl₂. Dapat disimpulkan bahwa ZnCl₂ mengkatalisis lignoselulosa pada temperatur yang lebih rendah, dan juga menghambat pembentukan tar (Ma dkk., 2015). Sementara itu, penurunan massa signifikan pada temperatur 400-580°C dapat diakibatkan oleh penguapan dari ZnCl₂.

ZnCl₂ mengalami reaksi dengan air yang dihasilkan dari pemotongan termal molekul selulosa yang terjadi pada temperatur 240 sampai 400°C. Pada penelitian yang dilakukan oleh Ma, dkk. (2015), reaksi ini terjadi pada temperatur 360°C yang ditunjukkan dengan munculnya senyawa Zn₂OCl₂·2H₂O yang diindikasikan dengan puncak tajam XRD (disajikan pada gambar 2.c) pada 2θ 18°. Peningkatan temperatur karbonisasi dari 360°C sampai 500°C meningkatkan terbentuknya senyawa Zn₂OCl₂·2H₂O, sekalipun mulai terdeteksi puncak ZnO pada 2θ antara 30° sampai 40°. Hal ini mengindikasikan terjadinya dekomposisi Zn₂OCl₂·2H₂O. Dekomposisi ini terjadi lebih lanjut saat temperatur dinaikkan sampai 600°C,

di mana terjadi penguapan $ZnCl_2$. Reaksi yang terjadi disajikan pada reaksi 2.1 dan 2.2 (Ma dkk., 2015).



Gambar 1. Mekanisme konversi selulosa menjadi karbon (Tang dan Bacon, 1964)



Gambar 2. Kurva TGA lignoselulosa (jamur shitake) (a), lignoselulosa (jamur shitake) + $ZnCl_2$ (b), spektra XRD pada berbagai temperatur (c) (Ma dkk., 2015)

3. PENGARUH BERBAGAI PARAMETER AKTIVASI TERHADAP LUAS PERMUKAAN KARBON AKTIF

Berbagai parameter yang digunakan dalam sintesis karbon aktif dengan menggunakan agen aktivasi $ZnCl_2$ dapat mempengaruhi luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan. Parameter tersebut di antaranya adalah rasio $ZnCl_2$ dan biomassa, temperatur dan waktu karbonisasi.

3.1 Rasio $ZnCl_2$ dan biomassa

Peningkatan jumlah $ZnCl_2$ yang digunakan dalam proses impregnasi, memberikan peningkatan luas permukaan, akan tetapi menurunkan perolehan karbon aktif. Pada pembuatan karbon aktif dari serat rami yang dilakukan oleh Du, dkk. (2015), peningkatan konsentrasi $ZnCl_2$ dari 20%b ke 40%b memberikan peningkatan luas permukaan dari 1.616 ke 1.893 m^2/g . Peningkatan lebih lanjut menjadi 60%b menurunkan luas permukaan menjadi 1.827 m^2/g . Hal lain yang teramati adalah perubahan struktur pori-pori pada karbon aktif yang diperoleh, di mana pada konsentrasi $ZnCl_2$ 20%b, kebanyakan pori-pori karbon aktif tergolong struktur mikropori (<2nm), sementara pada konsentrasi 40%b dan 60%b, strukturnya menjadi mesopori (2-50nm) (Du dkk., 2016). Sementara itu, perolehan karbon aktif optimum pada rasio 1, di mana saat rasio lebih besar dari 1, perolehan karbon aktif cenderung konstan (Li dan Kumar, 2016). Sementara itu, pada penelitian yang dilakukan oleh Karimnezhad, dkk (2014), peningkatan rasio $ZnCl_2$ terhadap biomassa dari 1:1 menjadi 2:1, terjadi peningkatan luas permukaan sebesar dua kali dari 1.366 m^2/g menjadi 2.643 m^2/g . Hal ini diakibatkan pelebaran pori-pori permukaan karbon aktif, yang terlihat pada analisa SEM. Secara kuantitatif, ukuran pori rata-rata di permukaan karbon aktif mengalami peningkatan dari 43,7 μm (rasio 1:1) menjadi 82,9 μm (rasio 2:1) (Karimnezhad dkk., 2014). Hasil serupa, juga diperoleh pada penelitian Erdem, dkk (2016), di mana peningkatan jumlah $ZnCl_2$, meningkatkan luas permukaan, dengan pelebaran pori-pori permukaan yang nampak pada analisa SEM. Lebih lanjut, peningkatan luas permukaan juga diikuti dengan peningkatan volume pori karbon aktif, yang menunjukkan bahwa struktur yang terbentuk lebih berpori (Erdem dkk., 2016).

Hal ini disebabkan oleh mekanisme aktivasi yang dimiliki oleh $ZnCl_2$. Diketahui secara umum terdapat tiga area rasio $ZnCl_2$ dan biomassa. Pada rasio rendah (<1), mekanisme pembentukan mikropori lebih dominan, dikarenakan jumlah $ZnCl_2$ yang tersedia tidak cukup untuk menghambat pembentukan tar (Lua dan Yang, 2005). Pada rasio antara 1-2, terjadi pengembangan struktur pori, sehingga mikropori yang terbentuk menjadi mesopori, sementara rasio tinggi (>2), efek $ZnCl_2$ menyebabkan penurunan struktur mikropori (Kamandari dkk., 2015).

3.2 Temperatur karbonisasi

Secara umum, $ZnCl_2$ memiliki temperatur optimum karbonisasi pada 500°C. Pada penelitian yang dilakukan oleh Demiral, dkk (2016), variasi temperatur 400, 500, dan 600°C dengan rasio $ZnCl_2$: biomassa 3:1, peningkatan luas permukaan dari

1.148 m^2/g (400°C) menjadi 1.564 m^2/g (500°C), dan turun menjadi 1.369 m^2/g pada 600°C. Peningkatan dapat diakibatkan oleh karena pada temperatur di bawah 500°C, lebih banyak senyawa volatil yang dilepaskan, seiring kenaikan temperatur, sehingga membantu membuka pori-pori dan meningkatkan luas permukaan. Sementara itu pada temperatur di atas 500°C, terjadi pelebaran pori-pori yang menyebabkan hancurnya struktur pori-pori yang sudah terbentuk (Demiral dkk., 2016). Secara kuantitatif, hal ini terukur pada penurunan volume mesopori seiring peningkatan temperatur. Hasil serupa juga teramati oleh peneliti lain (Ahmadpour dan Do, 1997; Olivares-Marin dkk., 2006; Ucar dkk., 2009; Liou, 2010; Sahin dkk., 2015).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Saka (2012), luas permukaan terbesar (1289 m^2/g) diperoleh pada temperatur 600°C dengan konsentrasi $ZnCl_2$ sebesar 50%, dibandingkan pada temperatur 500°C (988 m^2/g). Sementara itu, hasil yang berbeda diperoleh Erdem, dkk (2016), di mana temperatur 700°C memberikan luas permukaan dan volume pori yang lebih besar dibandingkan temperatur 500° dan 600°C pada rasio massa $ZnCl_2$: biomassa 3:4. Dari analisa SEM yang dilakukan, terlihat bahwa seiring peningkatan temperatur, pori-pori pada permukaan karbon aktif nampak lebih terbuka dan teratur, dibandingkan kedua temperatur lainnya. Hasil serupa juga diperoleh pada penelitian Angin, dkk. (2014) yang membuat karbon aktif dari biji ceri, dengan temperatur antara 500 sampai 900°C. Temperatur 700°C memberikan luas permukaan yang paling besar dibandingkan temperatur lainnya. Hal ini disebabkan terbentuknya volatil selama pemanasan yang meningkatkan porositas dari struktur karbon aktif, akan tetapi pemanasan pada temperatur yang lebih tinggi memberikan efek sintering dari volatil dan penyusutan pori-pori yang menyebabkan pori-pori menyempit dan menutup (Angin, 2014). Hasil serupa juga diperoleh pada penelitian Kalderis, dkk (2008) yang membuat karbon aktif dari bagas tebu dan sekam padi (Kalderis dkk., 2008).

3.3 Waktu karbonisasi

Selain rasio dan temperatur, waktu karbonisasi juga seringkali merupakan variabel yang diteliti dalam pembuatan karbon aktif. Pada penelitian yang dilakukan oleh Kamandari, dkk (2015), terdapat waktu optimum ada pembuatan karbon aktif dengan menggunakan kulit kacang pistachio. Diperoleh titik optimum pada waktu karbonisasi selama 45 menit, di mana pada karbonisasi selama 60 menit, terjadi penurunan luas permukaan dikarenakan pelebaran pori-pori dan kerusakan struktur pori (Kamandari dkk., 2015). Hasil serupa juga diperoleh pada pembuatan karbon aktif dari biji buah zaitun, di mana waktu karbonisasi 60 menit merupakan waktu optimumnya (Sahin dkk., 2015). Sementara pada variasi waktu karbonisasi antara 30 sampai 70 menit yang dilakukan oleh Bacaoui, dkk (2001), diperoleh bahwa waktu berpengaruh signifikan, dengan waktu optimum 68 menit (Bacaoui dkk., 2001). Akan tetapi,

hasil berbeda diungkapkan oleh Syed-Hassan dan Zaini (2016), di mana variasi waktu karbonisasi (60-150 menit) merupakan variabel yang tidak berpengaruh signifikan terhadap luas permukaan, pada studi pembuatan karbon aktif dengan rancangan percobaan Taguchi dengan tingkat kepercayaan 95%. Hasil serupa juga diperoleh pada penelitian Loredo-Cancino, dkk (2013) di mana waktu tidak berpengaruh signifikan dalam optimasi luas permukaan karbon aktif. Pada variasi waktu antara 2 sampai 6 jam, waktu karbonisasi juga diketahui tidak berpengaruh signifikan terhadap luas permukaan karbon aktif dari biji mangga (Kwaghger dan Adejoh, 2012). Sementara berbagai penelitian melakukan proses karbonisasi dengan waktu yang konstan (tidak divariasikan) (Yang dan Qiu, 2011; Angin, 2014; Erdem dkk., 2016).

Efek berbagai kondisi aktivasi (rasio, temperatur, dan waktu karbonisasi) terhadap luas permukaan karbon aktif yang berbeda dilaporkan oleh berbagai peneliti. Diduga hal ini berkaitan erat dengan jenis bahan yang diaktivasi, selain juga rasio antara $ZnCl_2$ dan biomassa. Pada penelitian yang dilakukan oleh Loredo-Cancino, dkk (2013), diketahui bahwa temperatur dan rasio, serta interaksinya merupakan variabel yang paling berpengaruh signifikan dalam sintesis karbon aktif dengan bahan aktivasi $ZnCl_2$ (Loredo-Cancino dkk., 2013). Sementara itu, perubahan waktu karbonisasi terhadap luas permukaan cenderung tidak memberikan pengaruh signifikan. Pada penelitian Sahin, dkk (2015) dan Kamandari, dkk (2015), selisih penurunan luas permukaan pada kenaikan waktu kurang dari 5%, sehingga tidak dapat dikatakan waktu karbonisasi berpengaruh. Hal serupa juga diungkapkan oleh (Tay dkk., 2001). Sementara itu, hasil optimasi yang dilakukan oleh Bacaoui dkk (2001), di mana temperatur merupakan variabel yang berpengaruh signifikan, diduga diakibatkan pemilihan level waktu karbonisasi, yaitu dari 30 sampai 70 menit. Diduga pada waktu karbonisasi yang terlalu singkat, struktur karbon aktif belum terbentuk dengan baik, sehingga memberikan luas permukaan yang relatif kecil, sehingga pada saat karbonisasi dilakukan lebih lama, waktu karbonisasi menjadi variabel yang berpengaruh signifikan.

4. PENELITIAN TERBARU DAN TANTANGAN KE DEPAN

Selain eksplorasi penggunaan berbagai jenis biomassa sebagai bahan baku dalam pembuatan karbon aktif, terdapat pengembangan berupa metode karbonisasi dengan pemanas gelombang mikro, dan penambahan agen aktivasi pembantu. Metode karbonisasi konvensional dengan menggunakan pemanas *furnace* sudah banyak diteliti. Beberapa tahun terakhir, penggunaan gelombang mikro (*microwave*) sebagai pemanas dalam proses karbonisasi mulai dieksplorasi. Hal ini dimungkinkan, karena dibandingkan material lain, karbon merupakan absorben gelombang mikro yang baik (Hesas dkk., 2013). Menurut Hesas, dkk (2013), pemanasan dengan gelombang mikro memiliki beberapa keunggulan,

yaitu radiasi gelombang mikro yang langsung pada biomassa dan agen aktivasi, sehingga pemanasan lebih cepat, dan hemat energi. Selain itu, pemanasannya bersifat selektif (hanya pada bahan), efisiensi yang lebih tinggi, proses *start up* dan *shut down* yang lebih cepat, *safety* yang lebih baik, dan ukuran alan yang lebih kecil (Hesas dkk., 2013). Karakteristik karbon aktif yang dihasilkan dari pemanasan gelombang mikro sama baiknya dengan karbon aktif yang dihasilkan dengan pemanasan konvensional (Alslaibi dkk., 2013).

Penggunaan agen aktivasi pembantu $CuCl_2$ dilakukan oleh Liu, dkk (2016). Penambahan $CuCl_2$ memberikan peningkatan luas permukaan karbon aktif dan struktur mikroporinya. Terdapat kondisi optimum konsentrasi $CuCl_2$ yang digunakan, di mana pada kondisi optimum, terjadi aktivasi secara radial pada temperatur lelehnya, sehingga membentuk struktur mikropori yang baru. Akan tetapi, penggunaan $CuCl_2$ melewati konsentrasinya akan menyebabkan turunnya luas permukaan dikarenakan reaksi yang berlebihan dan penyumbatan pori-pori (Liu dkk., 2016). Campuran $FeCl_3$ dan $ZnCl_2$ telah digunakan pada pembuatan karbon aktif dari kulit kopi, dengan luas permukaan $1.374m^2/g$. Sekalipun memiliki luas permukaan yang lebih kecil dibandingkan karbon aktif yang disintesis dengan $ZnCl_2$ saja ($1.522m^2/g$), karbon aktif tersebut memiliki kapasitas adsorpsi fenol yang 1,5 kali lebih besar (Oliveira dkk., 2009). Menurut Oliveira, dkk (2009), hal ini disebabkan tingginya gugus fungsi asam pada karbon aktif dikarenakan kehadiran $FeCl_3$. Pada penelitian Sun, dkk (2013), dilakukan sintesis karbon aktif dengan $ZnCl_2$ sebagai agen aktivasi dan $FeCl_3$ berfungsi sebagai katalis grafitisasi, sehingga menghasilkan komposit karbon aktif/graphene dengan luas permukaan $1.874m^2/g$. Seperti hasil yang diperoleh Oliveira, dkk (2009), luas permukaan ini lebih kecil dibandingkan karbon aktif yang disintesis hanya dengan $ZnCl_2$ saja ($2.009m^2/g$), akan tetapi memiliki performansi yang lebih tinggi sebagai elektroda superkapasitor.

Salah satu tantangan ke depan dalam komersialisasi produksi karbon aktif dengan aktivasi kimia terletak pada penggunaan biomassa, selain agen aktivasinya. Biomassa yang dapat dikonversi menjadi karbon aktif perlu memiliki kandungan karbon yang tinggi, inorganik yang rendah, selain tersedia dalam jumlah yang banyak, mudah didapat, serta tidak mudah terdegradasi dalam penyimpanan (Yahya dkk., 2015). Sementara itu, agen aktivasi yang telah digunakan perlu dapat diperoleh kembali (*recovery*), sehingga menjamin sisi ekonomis dari proses yang dilakukan. Proses pencucian karbon aktif dari aktivasi kimia sendiri umum dilakukan untuk membuka struktur pori-pori karbon aktif. Akan tetapi jarang dilakukan pengkajian pada proses ini untuk memperoleh kembali bahan aktivasi yang relatif mahal. Pada penelitian Kalderis, dkk (2008) dilakukan pengambilan kembali $ZnCl_2$ dari produk karbon aktif dengan menggunakan *leaching* beberapa tahap. Diperoleh hasil bahwa penggunaan HCl lebih efektif

daripada aquades dalam proses *leaching*, akan tetapi jumlah $ZnCl_2$ yang berhasil diambil hanya 30% dikarenakan $ZnCl_2$ terperangkap dalam struktur karbon (Kalderis dkk., 2008). Hasil serupa juga diperoleh pada penelitian Zaini, dkk (2014). Lebih lanjut $ZnCl_2$ yang diperoleh kembali digunakan sebagai agen aktivasi untuk membuat karbon aktif. Karbon aktif yang diperoleh memiliki luas permukaan yang lebih kecil dibandingkan karbon aktif yang disintesis dengan $ZnCl_2$ yang baru dikarenakan jumlah $ZnCl_2$ yang diperoleh kembali lebih sedikit (Zaini dkk., 2014).

5. KESIMPULAN

Sintesis karbon aktif dari biomassa menggunakan aktivasi kimia $ZnCl_2$ telah banyak diteliti. $ZnCl_2$ berperan menghambat pembentukan tar, serta mendorong aromatisasi dalam aktivasi karbon aktif. Temperatur dan rasio $ZnCl_2$ terhadap biomassa merupakan variabel yang paling berpengaruh terhadap luas permukaan karbon aktif yang diperoleh, sementara waktu karbonisasi cenderung tidak berpengaruh. Ke depannya, sumber pemanasan alternatif dengan gelombang mikro, penambahan agen aktivasi pembantu, dan pengambilan kembali agen aktivasi dapat diteliti dan dikembangkan lebih lanjut.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, F.; Daud W. M. A. W.; Ahmad M. A. dan Radzi R., Cocoa (*Theobroma cacao*) shell-based activated carbon by CO_2 activation in removing of Cationic dye from aqueous solution: Kinetics and equilibrium studies, *Chemical Engineering Research and Design*, 2012, 90(10), 1480–1490.
- Ahmad, M. A. dan Alrozi R., Optimization of rambutan peel based activated carbon preparation conditions for Remazol Brilliant Blue R removal, *Chemical Engineering Journal*, 2011, 168(1), 280–285.
- Ahmadpour, A. dan Do D. D., The Preparation of Activated Carbon from Macadamia Nutshell by Chemical Activation, *Carbon*, 1997, 35(12), 1723–1732.
- Alothman, Z. A.; Habila M. A. dan Ali R., Preparation of Activated Carbon Using the Copyrolysis of Agricultural and Municipal Solid Wastes at a Low Carbonization Temperature, *International Conference on Biology, Environment and Chemistry*, Singapore 2011, hal 67-72.
- Alslaibi, T. M.; Abustan I.; Ahmad M. A. dan Foul A. A., A review: production of activated carbon from agricultural byproducts via conventional and microwave heating, *J Chem Technol Biotechnol*, 2013, 88(7), 1183–1190.
- Angin, D., Production and characterization of activated carbon from sour cherry stones by zinc chloride, *Fuel*, 2014, 115, 804–811.
- Arie, A. A.; Kristianto H.; Suharto I.; Halim M. dan Lee J. K., Preparation of Orange Peel Based Activated Carbons as cathodes in Lithium Ion Capacitors, *Advanced Materials Research*, 2014, 896, 95–99.
- Azevedo, D. C. S.; Araujo J. C. S.; Bastos-Neto M.; Torres A. E. B.; Jaguaribe E. F. dan Cavalcante C. L., Microporous activated carbon prepared from coconut shells using chemical activation with zinc chloride, *Microporous and Mesoporous Materials*, 2007, 100(1-3), 361–364.
- Bacaoui, A.; Yaacoubi A.; Dahbi A.; Bennouna C.; Luu R. P.T.; Maldonado-Hodar F.J.; Rivera-Ultrilla J. dan Monero-Castilla C., Optimization of conditions for the preparation of activated carbons from olive-waste cakes, *Carbon*, 2001, 39(3), 425–432.
- Bansal, R. C. dan Goyal M., *Activated Carbon Adsorption*, CRC Press Boca Raton, 2005
- Bouguettoucha, A.; Reffas A.; Chebli D.; Mekhalif T. dan Amrane A., Novel activated carbon prepared from an agricultural waste, *Stipa tenacissima*, based on $ZnCl_2$ activation—characterization and application to the removal of methylene blue Desalination and Water Treatment, 2016, 57(50), 24056–24069.
- Chandra, T. C.; Mirna M. M.; Sunarso J.; Sudaryanto Y. dan Ismadji S., Activated carbon from durian shell: Preparation and Characterization, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 2009, 40(4), 457–462.
- Chen, C.; Zhao P.; Li Z. dan Tong Z., Adsorption behavior of chromium(VI) on activated carbon from eucalyptus sawdust prepared by microwave-assisted activation with $ZnCl_2$, *Desalination and Water Treatment*, 2016, 57(27), 12572–12584.
- Demiral, I.; Samdan C. A. dan Demiral H., Production and characterization of activated carbons from pumpkin seed shell by chemical activation with $ZnCl_2$, *Desalination and Water Treatment*, 2016, 57(6), 2446–2454.
- Doke, K. M.; Yusufi M.; Joseph R. D. dan Khan E. M., Comparative Adsorption of Crystal Violet and Congo Red onto $ZnCl_2$ Activated Carbon, *Journal of Dispersion Science and Technology*, 2016, 37(11), 1671–1681.
- Du, X.; Zhao W.; Ma S.; Ma M.; Qi T.; Wang Y. dan Hua C., Effect of $ZnCl_2$ impregnation concentration on the microstructure and electrical performance of ramie-based activated carbon hollow fiber, *Ionics*, 2016, 22(4), 545–553.
- Elmouwahidi, A.; Zapata-Benabith Z.; Carrasco-Marín F. dan Moreno-Casti C., Activated carbons from KOH-activation of argan (*Argania spinosa*) seed shells as supercapacitor electrodes, *Bioresource Technology*, 2012, 111, 185–190.
- Erdem, M.; Orhan R.; Şahin M. dan Aydın E., Preparation and Characterization of a Novel Activated Carbon from Vine Shoots by $ZnCl_2$ Activation and Investigation of Its Rifampicine Removal Capability, *Water Air Soil Pollut*, 2016, 227, 226.
- Foo, K. Y. dan Hameed B. H., Factors affecting the carbon yield and adsorption capability of the mangosteen peel activated carbon prepared by microwave assisted K_2CO_3 activation, *Chemical Engineering Journal*, 2012, 180, 66–74.
- Hesas, R. H.; Daud W. M. A. W.; Sahu J. N. dan Arami-Niya A., The effects of a microwave heating method on the production of activated carbon from

- agricultural waste: A review, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2013, 100, 1-11.
- Kalderis, D.; Bethanis S.; Paraskeva P. dan Diamadopoulou E., Production of activated carbon from bagasse and rice husk by a single-stage chemical activation method at low retention times, *Bioresource Technology*, 2008, 99(15), 6809-6816.
- Kamandari, H.; Rafsanjani H. H.; Najjarzadeh H. dan Eksiri Z., Influence of process variables on chemically activated carbon from pistachio shell with ZnCl₂ and KOH, *Res Chem Intermed*, 2015, 41(1), 71-81.
- Karimnezhad, L.; Haghghi M. dan Fatehifar E., Adsorption of benzene and toluene from waste gas using activated carbon activated by ZnCl₂, *Front. Environ. Sci. Eng.*, 2014, 8(6), 835-844.
- Kwaggher, A. dan Adejoh E., Optimization of conditions for the preparation of activated carbon from mango nuts using ZnCl₂, *International Journal of Engineering Research and Development*, 2012, 1(8), 1-7.
- Li, C. dan Kumar S., Preparation of activated carbon from un-hydrolyzed biomass residue, *Biomass Conv. Bioref.*, 2016, 6(4), 407-419.
- Li, X.; Xing W.; Zhuo S.; Zhou J.; Qiao S.-Z. dan Lu G.-Q., Preparation of capacitor's electrode from sunflower seed shell, *Bioresource Technology*, 2011, 102(2), 1118-1123.
- Liou, T. H., Development of mesoporous structure and high adsorption capacity of biomass-based activated carbon by phosphoric acid and zinc chloride activation, *Chemical Engineering Journal*, 2010, 158(2), 129-142.
- Liu, B.; Gu J. dan Zhou J., High Surface Area Rice Husk-Based Activated Carbon Prepared by Chemical Activation with ZnCl₂-CuCl₂ Composite Activator, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 2016, 35(1), 133-140.
- Loredo-Cancino, M.; Soto-Regalado E.; Cerino-Córdova F. J.; García-Reyes R. B.; García-León A. M. dan Garza-González M. T., Determining optimal conditions to produce activated carbon from barley husks using single or dual optimization, *Journal of Environmental Management*, 2013, 125, 117-125.
- Lua, A. C. dan Yang T., Characteristics of activated carbon prepared from pistachio-nut shell by zinc chloride activation under nitrogen and vacuum conditions, *Journal of Colloid and Interface Science*, 2005, 290(2), 505-513.
- Ma, Y.; Wang Q.; Wang X.; Sun X. dan Wang X., A comprehensive study on activated carbon prepared from spent shiitake substrate via pyrolysis with ZnCl₂, *J Porous Mater*, 2015, 22(1), 157-169.
- Marsh, H. dan Rodriguez-Renioso F., *Activated Carbon*, Elsevier Science & Technology Books, 2006
- Olivares-Marin, M.; Fernandez-Gonzalez C.; Macias-Garcia A. dan Gomez-Serrano V., Preparation of activated carbon from cherry stones by chemical activation with ZnCl₂, *Applied Surface Science*, 2006, 252(17), 5967-5971.
- Oliveira, L. C. A.; Pereira E.; Guimaraes I. R.; Vallone A.; Pereira M.; Mesquita J. P. dan Sapag K., Preparation of activated carbons from coffee husks utilizing FeCl₃ and ZnCl₂ as activating agents, *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 165(1-3), 87-94.
- Pap, S.; Radonic J.; Trifunovic S.; Adamovic D.; Mihajlovic I.; Miloradov M. V. dan Sekulic M. T., Evaluation of the adsorption potential of eco-friendly activated carbon prepared from cherry kernels for the removal of Pb²⁺, Cd²⁺ and Ni²⁺ from aqueous wastes, *Journal of Environmental Management*, 2016, 184(2), 297-306.
- Prahas, D.; Kartika Y.; Indraswati N. dan Ismadji S., Activated carbon from jackfruit peel waste by H₃PO₄ chemical activation: Pore structure and surface chemistry characterization, *Chemical Engineering Journal*, 2008, 140(1-3), 32-42.
- Sahin, Ö.; Saka C.; Ceyhan A. A. dan Baytar O., Preparation of High Surface Area Activated Carbon from *Elaeagnus angustifolia* Seeds by Chemical Activation with ZnCl₂ in One-Step Treatment and its Iodine Adsorption, *Separation Science and Technology*, 2015, 50(6), 886-891.
- Sudaryanto, Y.; Hartono S. B.; Irawaty W.; Hindarso H. dan Ismadji S., High surface area activated carbon prepared from cassava peel by chemical activation, *Bioresource Technology*, 2006, 97(5), 734-739.
- Syed-Hassan, S. S. A. dan Zaini M. S. M., Optimization of the preparation of activated carbon from palm kernel shell for methane adsorption using Taguchi orthogonal array design, *Korean J. Chem. Eng.*, 2016, 33(8), 2502-2512.
- Tang, M. M. dan Bacon R., Carbonization of Cellulose Fibers I: Low Temperature, *Carbon*, 1964, 2(3), 211-220.
- Tay, J. H.; Chen X. G.; Jeyaseelan S. dan Graham N., Optimising the Preparation of Activated Carbon from Digested Sewage Sludge and Coconut Husk, *Chemosphere*, 2001, 44(1), 45-51.
- Teo, E. Y. L.; Muniandy L.; Ng E.-P.; Adam F.; Mohamed A. R.; Jose R. dan Chong K. F., High surface area activated carbon from rice husk as a high performance supercapacitor electrode, *Electrochimica Acta*, 2016, 192, 110-119.
- Ubago-Perez, R.; Carrasco-Marin F.; Fairen-Jimenez D. dan Moreno-Castilla C., Granular and monolithic activated carbons from KOH-activation of olive stones, *Microporous and Mesoporous Materials*, 2006, 92(1-3), 64-70.
- Ucar, S.; Erdem M.; Tay T. dan Karagoz S., Preparation and characterization of activated carbon produced from pomegranate seeds by ZnCl₂ activation, *Applied Surface Science*, 2009, 255(21), 8890-8896.
- Yahya, M. A.; Al-Qodah Z. dan Ngah C. W. Z., Agricultural bio-waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 46, 218-235.
- Yang, J. dan Qiu K., Experimental Design To Optimize the Preparation of Activated Carbons from Herb Residues by Vacuum and Traditional ZnCl₂

Chemical Activation, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2011, 50(7), 4057–4064.

Yang, T. dan Lua A. C., Characteristics of activated carbons prepared from pistachio-nut shells by potassium hydroxide activation, *Microporous and Mesoporous Materials*, 2003, 63(1-3), 113-124.

Zaini, M. A. A.; Meng T. W.; Kamaruddin M. J.; Setapar S. H. M. dan Yunus M. A. C., Microwave-Induced Zinc Chloride Activated Palm Kernel Shell for Dye Removal, *Sains Malaysiana*, 2014, 43(9), 1421–1428.