



## Pengaruh Temperatur dan Waktu Karbonisasi pada Sintesis *Porous Carbon* Berbahan Dasar Molase

Asti Ayuk Putri Pertiwi<sup>a</sup>, Pardoyo<sup>a\*</sup>, Agus Subagio<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Inorganic Laboratory, Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang 50275

\* Corresponding author: [pardoyoku@live.undip.ac.id](mailto:pardoyoku@live.undip.ac.id)

### Article Info

**Keywords:**  
Molasses, porous carbon, carbonization, SEM, BET

**Kata kunci:**  
molase, *porous carbon*, karbonisasi, SEM, BET

### Abstract

Research on the effect of temperature and carbonization time on the synthesis of porous carbon based molasses has been conducted. Molasse is a by-product of a sugar mill that has an un-crystallized content of sucrose. This research was conducted using molasses as carbon source and tetramethylammonium chloride as pore printing with carbonization temperature range at 500–650°C, while the carbonization time range was 30–180 minutes. Benzene gas was used for porous carbon adsorptivity test result of time variation. The surface analysis of the resulting porous carbon was conducted by SEM (Scanning Electron Microscopy) to observe surface morphology and BET (Bruanuer Emmet Teller) to determine surface area and pore volume. From the research results, it was obtained that on the porous carbon, the number and morphology of molecules tended to increase along with the increase of temperature and the optimum calcination temperature obtained was 600°C. The best carbonization and adsorption time were obtained at 180 minutes with surface area 265,38 m<sup>2</sup>/gram, pore volume 187,65 x 10<sup>-3</sup> cc/gram and adsorptivity 5,39 x 10<sup>-3</sup> mol/gram.

### Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh temperatur dan waktu karbonisasi pada sintesis *porous carbon* berbahan dasar molase. Molase merupakan hasil samping pabrik gula yang memiliki kandungan sukrosa yang sudah tidak dapat dikristalkan lagi. Penelitian ini dilakukan menggunakan molase sebagai sumber karbon dan tetrametilamonium klorida sebagai pencetak pori dengan *range* temperatur karbonisasi pada 500 – 650°C, sedangkan *range* waktu karbonisasi adalah 30–180 menit. Untuk pengujian adsorptivitas *porous carbon* hasil variasi waktu digunakan gas benzena. Analisis permukaan dari *porous carbon* yang dihasilkan dilakukan dengan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk mengamati morfologi permukaan dan BET (*Bruanuer Emmet Teller*) untuk mengetahui luas permukaan dan volume pori. Dari hasil penelitian diperoleh *porous carbon* dengan jumlah dan morfologi molekul yang cenderung meningkat seiring dengan peningkatan temperatur, temperatur optimum diperoleh pada 600°C. Sedangkan waktu karbonisasi dan kemampuan adsorpsi terbaik diperoleh pada waktu 180 menit dengan luas permukaan 265,38 m<sup>2</sup>/gram, volume pori 187,65 x 10<sup>-3</sup> cc/gram dan adsorptivitas sebesar 5,39 x 10<sup>-3</sup> mol/gram.

### 1. Pendahuluan

Limbah agrikultural banyak tersedia, murah serta dapat diolah menjadi bahan yang lebih berguna sehingga

dapat menghindari polusi yang disebabkan oleh penumpukan atau pembakaran sampah. Karbonisasi menjadi salah satu pilihan untuk mengelola sampah. Produk hasil karbonisasi yang berasal dari sampah

tanaman dan hewan dapat digunakan sebagai pengganti arang kayu [1].

Salah satu hasil perkebunan yang cukup besar di Indonesia adalah tebu. Tebu biasanya digunakan sebagai bahan dasar pembuatan gula pasir. Oleh karena itu, banyak dijumpai pabrik pembuatan gula pasir dari tebu. Molase merupakan hasil samping pabrik gula pasir berupa cairan seperti kecap dan beraroma khas serta memiliki kandungan sukrosa sekitar 30% dan gula pereduksi 25% yang berupa glukosa dan fruktosa [2, 3]. Sukrosa dalam molase merupakan komponen sukrosa yang sudah tidak dapat lagi dikristalkan dalam proses masak di pabrik gula [4]. Pada umumnya molase diolah menjadi etanol melalui proses fermentasi [5]. Karena tingginya kadar karbohidrat, dapat dimanfaatkan dalam pembuatan *porous carbon*.

*Porous carbon* merupakan material padat berpori yang memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi gas maupun zat cair. Peranan pori-pori *porous carbon* dalam proses adsorpsi sangat penting yaitu sebagai penyedia tempat bagi molekul adsorbat. Efektivitas adsorpsi oleh material berpori dipengaruhi oleh sifat permukaan dan ukuran pori. Ukuran, bentuk, serta distribusi dalam ukuran pori berpengaruh besar pada karakteristik materi berpori dan aplikasi yang tepat [6]. Keseragaman ukuran pori dapat diperoleh dengan penambahan agen pembentuk pori pada sintesis *porous carbon*. Menurut penelitian [7], agen pembentuk pori yang dapat digunakan adalah kation dari garam amonium. Dalam penelitian ini digunakan tetrametilamonium klorida (TMACl) yang merupakan agen pembentuk pori dengan alkil rantai pendek. Upaya yang dilakukan untuk dapat menghilangkan molekul pembentuk pori yang masih tertinggal di dalam pori, sering dilakukan dengan proses karbonisasi pada suhu tinggi dan dilakukan dalam kondisi *inert*. Selain itu, tujuan lain dari karbonisasi adalah untuk meningkatkan ukuran mesopori dari *porous carbon* [6]. Pori material hasil sintesis seringkali tertutupi oleh molekul pembentuk pori yang tertinggal sehingga menyebabkan ukuran pori menjadi lebih kecil dari yang sesungguhnya. Dengan melakukan variasi temperatur dan waktu karbonisasi diharapkan dapat ditentukan temperatur dan waktu yang tepat untuk mendapatkan hasil optimum sintesis *porous carbon* dari molase.

## 2. Metodologi

### Bahan Dasar

Molase, asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) 98% p.a., tetrametilamonium klorida (TMACl) p.a., benzena, gas nitrogen murni dan akuades.

### Pengaruh Temperatur terhadap Sintesis *Porous Carbon*

Pengambilan molase dengan berat sebanyak 20 gram, asam sulfat sebanyak 2,24 gram, dan tetrametilamonium klorida sebanyak 0,45 gram, kemudian ketiga senyawa tersebut dicampurkan di dalam krus porselin dan diaduk sampai campuran homogen, kemudian dipanaskan pada temperatur 100°C dalam oven selama 6 jam sampai diperoleh pasta kental.

Pasta yang diperoleh selanjutnya dicuci dengan akuades dalam *ultrasonic cleaner* hingga netral. Pasta kemudian dibentuk menjadi pelet. Pelet yang terbentuk kemudian dilakukan pemanasan tahap kedua pada 160°C selama 3 jam. Pelet ditimbang, kemudian dimasukkan ke dalam furnace yang sudah dialiri gas nitrogen. Proses karbonisasi dilakukan dengan berbagai variasi temperatur yaitu 500°C, 550°C, 600°C dan 650°C selama 1 jam. Hasil *porous carbon* yang terbentuk tersebut diambil kemudian ditimbang dan dianalisis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

### Pengaruh Waktu Karbonisasi terhadap Sintesis *Porous Carbon*

Pengambilan pelet yang belum dikarbonisasi sebelumnya, kemudian ditimbang masing-masing beratnya dan dimasukkan ke dalam furnace yang telah dialiri dengan gas nitrogen, variasi waktu yang dilakukan adalah 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, 150 menit dan 180 menit. Hasil karbonisasi kemudian diambil, ditimbang dan dianalisis dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Bruanuer Emmet Teller* (BET).

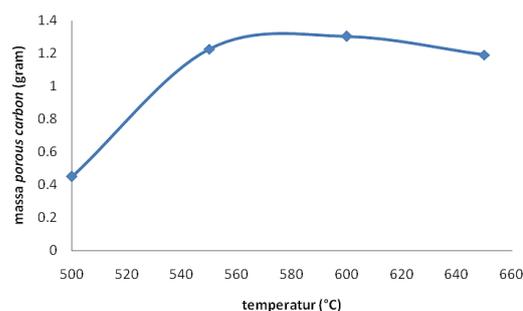
### Uji Adsoptivitas *Porous Carbon* Hasil Sintesis

Pengambilan masing-masing 0,1 gram *porous carbon* hasil karbonisasi dengan variasi waktu 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, 150 menit dan 180 menit. Kemudian dimasukkan ke dalam cawan porselin dan dilakukan pengovenan dalam temperatur 120°C selama 1 jam, hasil pengovenan kemudian ditimbang dan diletakkan ke dalam desikator yang sudah diletakkan cawan porselin berisi benzena di dalamnya dan didiamkan selama 24 jam di dalam desikator tersebut. *Porous carbon* yang sudah mengadsorpsi benzena tersebut kemudian ditimbang.

## 3. Hasil Dan Pembahasan

### Pengaruh Temperatur

Penggunaan temperatur yang bervariasi akan mempengaruhi ukuran pori yang akan dihasilkan dari proses sintesis. Hubungan antara temperatur dan massa *porous carbon* yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 1. Pada temperatur 500°C didapatkan *porous carbon* yang sedikit, sedangkan pada temperatur 550°C dan 600°C didapatkan jumlah hasil yang cukup banyak, kemudian terjadi penurunan jumlah pada 650°C.



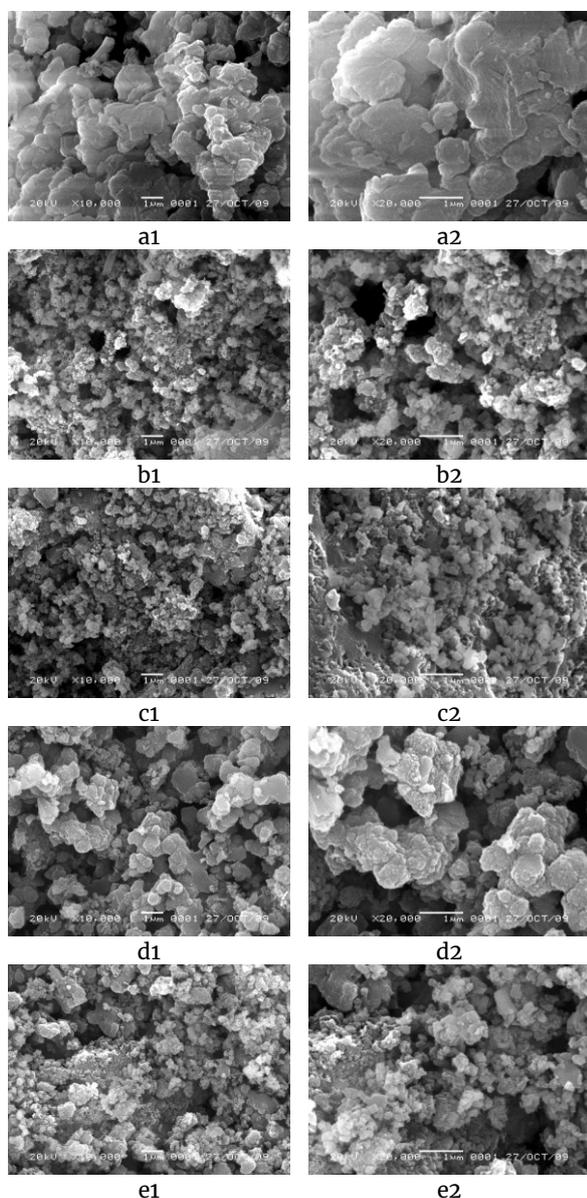
Gambar 1 Grafik hubungan temperatur versus massa *porous carbon*

Penyusutan massa *porous carbon* hasil karbonisasi dapat diketahui dengan membandingkan antara massa sebelum proses karbonisasi dengan massa setelah proses karbonisasi. Hasil ini dapat dilihat dalam tabel 1.

Tabel 1. Penyusutan massa *porous carbon* hasil karbonisasi

No	Temperatur (°C)	Penyusutan (%)
1	500	88,94
2	550	71,53
3	600	69
4	650	73,05

Hasil karbonisasi tersebut kemudian dianalisis morfologi permukaan dengan menggunakan alat *Scanning Electron Mikroskop* (SEM) yang akan menunjukkan gambar tiga dimensi bentuk morfologi struktur *porous carbon* yang dihasilkan. Hasil analisis menggunakan *Scanning Electron Mikroskop* (SEM) pada masing-masing temperatur karbonisasi ditunjukkan pada gambar 2.

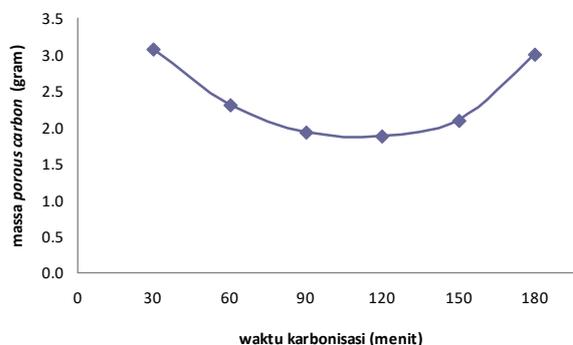


Gambar 2 Hasil analisis SEM pada sintesis *porous carbon* dengan temperatur a1-a2: sebelum karbonisasi, b1-b2: 500°C, c1-c2: 550°C, d1-d2: 600°C dan e1-e2: 650°C (a1-e1 : perbesaran 10.000x dan a2-e2 : perbesaran 20.000x)

Dari gambar 2 terlihat bahwa proses karbonisasi menyebabkan perubahan morfologi pori dan ukuran *porous carbon*. Sintesis *porous carbon* pada temperatur 500°C dan 550°C belum didapatkan morfologi pori yang teratur, hal ini disebabkan penataan partikel *porous carbon* yang belum sempurna. Perubahan yang paling signifikan mulai terjadi pada temperatur 600°C. Dalam temperatur ini, bentuk morfologi *porous carbon* lebih teratur dan tampak lebih jelas karena proses penataan partikel *porous carbon* untuk mencapai kestabilan. Sedangkan pada temperatur 650°C secara visual menunjukkan penurunan morfologi pori yang terbentuk. Penurunan morfologi pori yang terbentuk dimungkinkan karena terbentuknya abu yang berasal dari pemanasan karbon yang terlalu tinggi.

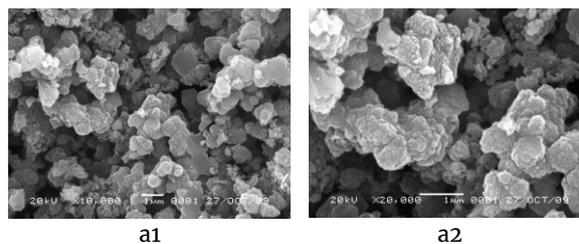
**Pengaruh Waktu**

Pemvariasian waktu karbonisasi ini dilakukan dengan tujuan untuk menentukan pengaruh waktu terhadap morfologi *porous carbon*. Pada penelitian ini, *porous carbon* divariasikan waktu pada temperatur 600°C, hal ini karena *porous carbon* tersebut mempunyai morfologi permukaan yang lebih teratur dibandingkan dengan *porous carbon* yang dikarbonisasi pada temperatur 500°C, 550°C dan 650°C. Hubungan antara waktu karbonisasi dan massa *porous carbon* yang dihasilkan terlihat pada gambar 3. Dari hasil karbonisasi pada waktu 30 menit didapatkan *porous carbon* dengan massa paling banyak, kemudian terjadi penurunan pada waktu di atas 30 menit dan terjadi peningkatan kembali pada waktu 150 menit dan 180 menit..



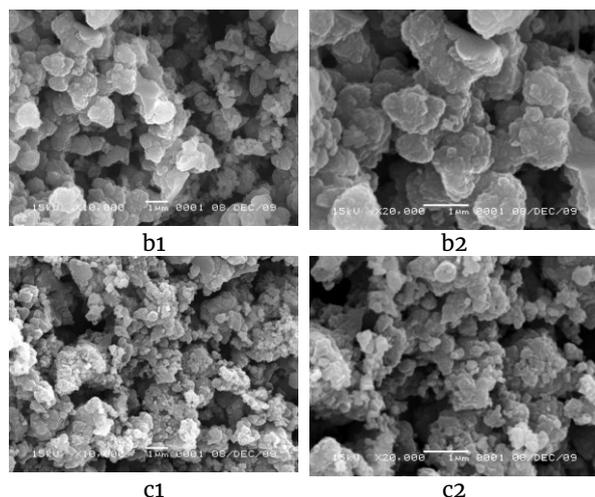
Gambar 3 Grafik hubungan waktu versus massa *porous carbon*

Hasil karbonisasi pada waktu 60 menit, 120 menit dan 180 menit kemudian dianalisis morfologinya dengan menggunakan alat *Scanning Electron Mikroskop* (SEM) ditunjukkan pada gambar 4.



a1

a2



Gambar 4 Hasil analisis SEM pada sintesis porous carbon dengan waktu a1-a2: 60 menit, b1-b2: 120 menit dan c1-c2: 180 menit (a1-c1 : perbesaran 10.000x dan a2-c2 : perbesaran 20.000x)

Dari data analisis SEM, didapatkan bahwa hasil sintesis porous carbon pada waktu karbonisasi 60 menit dan 120 menit mempunyai morfologi pori yang tidak begitu berbeda yaitu berbentuk sferik. Sedangkan hasil analisis SEM pada waktu karbonisasi 180 menit secara visual menunjukkan mengecilnya morfologi pori yang terbentuk karena dengan semakin lamanya waktu karbonisasi maka akan terjadi aglomerasi porous carbon yang terbentuk.

Pembentukan porous carbon yang terlihat pada gambar analisis SEM di atas diperkuat dengan data hasil BET pada tabel 2.

Tabel 2. Data luas permukaan, volume pori dan ukuran pori rata-rata porous carbon dari molase

	60 menit	120 menit	180 menit
Luas permukaan (m <sup>2</sup> /gram)	216,8812	244,3830	265,0616
Volume pori (cc/gram)	150,368 × 10 <sup>-3</sup>	171,603 × 10 <sup>-3</sup>	187,653 × 10 <sup>-3</sup>
Ukuran pori rata-rata (nm)	1,3206	1,3163	1,3355

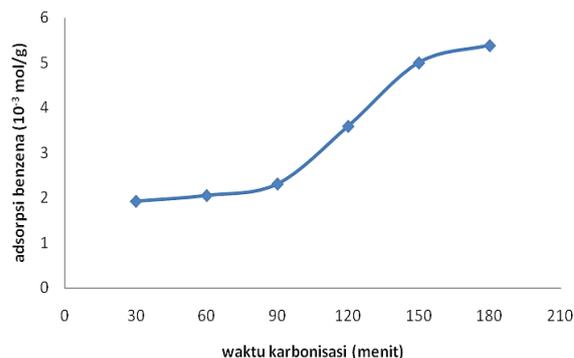
Berdasarkan hasil analisis BET, porous carbon hasil sintesis dari molase berukuran supermikropori karena memiliki ukuran pori rata-rata 1,3 nm. Secara keseluruhan ukuran pori yang dihasilkan dari ketiga variasi waktu sama karena adanya TMACl yang berfungsi sebagai cetakan. Berdasarkan hasil penelitian ini, luas permukaan, volume pori dan ukuran pori rata-rata meningkat seiring bertambahnya waktu karbonisasi.

**Uji Adsorptivitas**

Adsorpsi merupakan fenomena yang berkaitan erat dengan permukaan, yang terlibat interaksi antara molekul yang bergerak (cairan dan gas) dengan molekul yang relatif diam yang mempunyai permukaan atau antarmuka sehingga porous carbon dapat

digunakan sebagai adsorpsi gas. Gas yang dipilih untuk uji adsorpsi gas adalah benzena.

Dalam penelitian ini, hasil adsorpsi porous carbon yang telah dikarbonisasi dengan berbagai variasi waktu dapat dilihat pada gambar 5. Kemampuan adsorpsi benzena semakin meningkat dengan bertambahnya waktu karbonisasi, hal ini disebabkan karena luas permukaan dan volume pori dari porous carbon yang semakin meningkat juga sehingga kemampuan untuk mengadsorpsi lebih besar.



Gambar 5 Grafik hubungan waktu karbonisasi dengan adsorpsi benzena

**4. Kesimpulan**

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan porous carbon dapat disintesis dari molase dengan rata-rata rendemen sebesar 31,02 %. Semakin meningkatnya temperatur karbonisasi, porous carbon yang dihasilkan cenderung semakin banyak dan morfologi molekul semakin teratur, dalam penelitian ini temperatur optimum didapatkan pada 600°C. Semakin meningkatnya waktu karbonisasi, morfologi molekul dan karakteristik permukaan porous carbon yang dihasilkan semakin kecil dan meningkat, dalam penelitian ini waktu karbonisasi optimum didapatkan pada 180 menit dengan luas permukaan 265,3830 m<sup>2</sup>/gram, volume pori 187,653 x 10<sup>-3</sup> cc/gram dan adsorptivitas sebesar 5,385 x 10<sup>-3</sup> mol/gram.

**5. Daftar Pustaka**

- [1] Yoshiyuki Shinogi, Yutaka Kanri, Pyrolysis of plant, animal and human waste: physical and chemical characterization of the pyrolytic products, Bioresource Technology, 90, 3, (2003) 241-247 [http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00147-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00147-0)
- [2] Samsul Hadi, Ikhtisar Angka Perusahaan Tahun Giling 2000, Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI), 2001.
- [3] J. Maurice Paturau, By-products of the cane sugar industry. An introduction to their industrial utilization, Elsevier Science Publishers BV, 1969.
- [4] Yahya Kurniawan, M. Hendro Santoso, Pengaruh Jumlah Umpan Dan Laju Alir Eluen Pada Pemisahan Sukrosa Dari Tetes Tebu Secara Kromatografi, Jurnal Ilmu Dasar, 5, 1, (2004) 42-49
- [5] P. Baker, Proc. AFMA, Eleventh Annual Liquid Feed Symposium, Arlington, Virginia, (1981).

- [6] Steven Dietz, Dean Recla, Porous carbons from carbohydrates, in, Google Patents, 2009.
- [7] Steven Dietz, Dean Recla, Development and Production of Inexpensive Carbons for Double Layer Capacitors, Proceedings of the 14th International Seminar on Double Layer Capacitors and Hybrid Energy Storage Devices, (2004).