



KAJIAN PENGARUH SILIKA PADA GRAFITISASI KATALITIK KOKAS MINYAK BUMI

Susalit Setya Wibowo

*Sentra Teknologi Polimer (STP) – BPP Teknologi
Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang 15314, Banten*

ABSTRAK

KAJIAN PENGARUH SILIKA PADA GRAFITISASI KATALITIK KOKAS MINYAKBUMI Telah dilakukan kajian pengaruh silika (SiO_2) pada proses grafitisasi kokas minyakbumi. Dalam kajian ini digunakan parameter-parameter fisika seperti densitas (ρ), persen volum susut (V_s), persen massa hilang (M_h), spasi antar-lapisan (d_{002}), indeks grafitisasi (p_{002}), dan derajat grafitisasi (g_{002}). Parameter-parameter fisika tersebut menunjukkan bahwa silika (SiO_2) mampu mempercepat proses grafitisasi.

ABSTRACT

STUDY OF THE INFLUENCES OF SILICA ON CATALYTIC GRAPHITIZATION OF PETROLEUM COKE. Study of the influences of silica (SiO_2) on graphitization process of petroleum coke has been done. Physical parameters such as density (ρ), percent of shrinkage volume (V_s), percent of loss mass (M_h), inter-layer spacing (d_{002}), graphitization index (p_{002}) and graphitization degree (g_{002}) were used in this study. The physical parameters have shown that silica (SiO_2) was capable of accelerating the graphitization process.

PENDAHULUAN

Suhu merupakan salah satu faktor yang sangat menentukan dalam pembuatan grafit tiruan yang berkualitas tinggi. Dalam proses pembuatan grafit tiruan diperlukan panas pada kisaran antara 2500 sampai 3000 °C untuk mengubah materi karbon yang berstruktur kurang tertata baik atau acak menjadi struktur grafitik yang tertata baik⁽¹⁾. Penyediaan panas pada kisaran suhu tersebut di atas merupakan suatu pekerjaan yang tidak mudah, dan hal ini sering menjadi kendala yang cukup berat dalam upaya memperoleh grafit berkualitas tinggi.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Yateman Aryanto, dkk⁽²⁾ tentang kajian kristalinitas grafit tiruan hasil pemanasan pada suhu 700, 800, 900, 1000, dan 1100 °C menyimpulkan bahwa grafit yang dihasilkan itu memiliki struktur grafitik yang benar tetapi kristalinitasnya belum memenuhi kriteria suatu grafit ideal. Aune, dkk⁽³⁾ menyatakan bahwa proses penggrafitan yang dilakukan pada suhu sekitar 1200 °C terhadap materi karbon yang dapat digrafitkan akan menghasilkan suatu materi semi-grafitik atau lebih dikenal sebagai grafit turbostratik atau lubrikostratik. Sedangkan perubahan dari struktur grafit turbostratik menjadi struktur grafitik, baik dalam struktur grafit monohedral maupun heksagonal, akan terjadi secara

lambat pada suhu di atas 1800 °C, dan kemudian proses ini akan berlangsung dengan relatif cepat setelah melampaui suhu 2200 °C⁽⁴⁾.

Grafitisasi pada suhu rendah dimungkinkan dapat dilakukan dengan menggunakan penambahan unsur-unsur pembentuk karbida yang mempunyai fungsi sebagai katalis^(1,5). Unsur-unsur pembentuk karbida tersebut, seperti yang dinyatakan oleh Vohler, dkk⁽¹⁾, mampu mengkatalis proses penggrafitan dan pada akhirnya mampu meningkatkan laju dan kualitas proses penggrafitan. Dalam suatu penelitian yang dilakukan oleh Stefan, dkk⁽⁵⁾ diperoleh hasil bahwa logam-logam seperti Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, dan mineral bentonit dapat mengkatalis proses penggrafitan kokas-minyakbumi (*petroleum-coke*) yang mengandung belerang sebesar 0,74% hingga 3,88%.

Paper ini menyajikan suatu kajian tentang pengaruh katalis silika (SiO_2) pada proses penggrafitan kokas-minyakbumi pada suhu 2000 °C dengan menggunakan beberapa parameter fisik seperti parameter mikroskopis hasil pengolahan data difraksi sinar-x dan parameter makroskopis. Beberapa parameter fisik makroskopis yang digunakan dalam kajian ini antara lain adalah densitas (ρ), persen volum susut (V_s), dan persen

massa hilang (M_h). Sedangkan parameter-parameter fisik mikroskopis yang digunakan antara lain adalah spasi antar lapisan (d_{002}), derajat grafritisasi (g) dan indeks grafritisasi (p). Dari berbagai parameter itu akan diperoleh banyak informasi yang berkaitan dengan kualitas proses penggrafitan dan kualitas grafit tiruan yang dihasilkan.

TATA KERJA

Bahan

Bahan dasar pembuatan grafit tiruan digunakan kokas-minyakbumi sebagai bahan pengisinya dan gala-gala batu-bara sebagai bahan pengikatnya. Sedangkan silika (SiO_2) pro analis bentuk kuarsa digunakan sebagai katalis pada proses penggrafitan.

Cara Kerja

Proses pembuatan pelet grafit

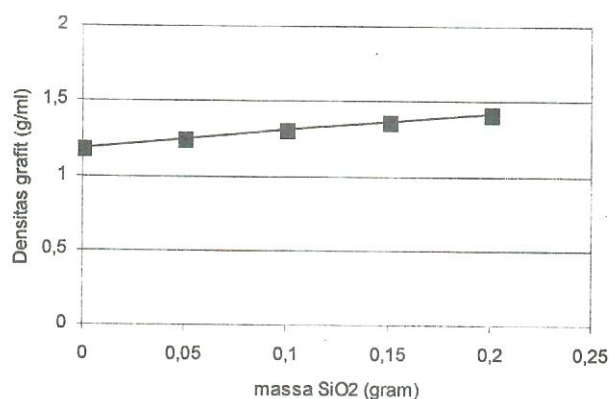
Pelet dibuat dengan mencampur bahan-bahan dasar kokas-minyakbumi dan gala-gala batu-bara dengan ukuran butir masing-masing 90 μ . Perbandingan persen berat antara kokas-minyakbumi dan gala-gala batu-bara adalah 75 : 25. Silika yang digunakan untuk masing-masing cuplikan adalah sebesar 0, 0,05, 0,10, 0,15, dan 0,20 gram, yang selanjutnya secara berurutan cuplikan-cuplikan tersebut disimbolkan sebagai G-1, G-2, G-3, G-4, dan G-5. Pencampuran bahan-bahan dasar tersebut dilakukan dengan pengadukan terus-menerus dan dipanaskan pada suhu kira-kira 200 °C hingga diperoleh suatu campuran yang homogen. Setelah diperoleh campuran plastis yang homogen kemudian dimasukkan ke dalam cetakan berbentuk silinder berdiameter sebesar 3,5 cm dan ditekan pada tekanan sebesar 100 KN/cm². Pelet-pelet yang dihasilkan selanjutnya dipanggang dalam tungku pada suhu 900 °C selama 60 menit dan diusahakan agar pelet-pelet itu tidak kontak langsung dengan udara luar (terutama oksigen). Pelet yang telah dipanggang itu kemudian digrafitkan dalam tungku lain pada suhu 2000 °C selama 10 menit dan dialiri gas argon pada tekanan sekitar 20 psi.

Penentuan persen massa hilang dan volum susut

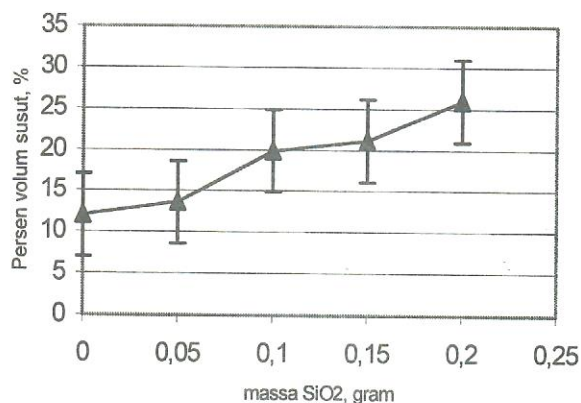
Persen massa hilang ditentukan dengan menghitung selisih massa pelet sebelum dan sesudah perlakuan termal dibagi dengan massa pelet awal sebelum perlakuan termal dan kemudian dikali 100%.

Sedangkan persen volum susut dihitung dengan menggunakan data densitas dan massa pelet sebelum dan sesudah perlakuan termal. Perhitungannya menggunakan rumus $V = M/\rho$, dimana V adalah volum pelet, M adalah massa pelet, dan ρ adalah densitas pelet. Persen volum susut yang diperoleh merupakan hasil perhitungan dari selisih volum pelet sebelum dan sesudah perlakuan termal dibagi dengan volum pelet sebelum perlakuan termal dan dikali 100%.

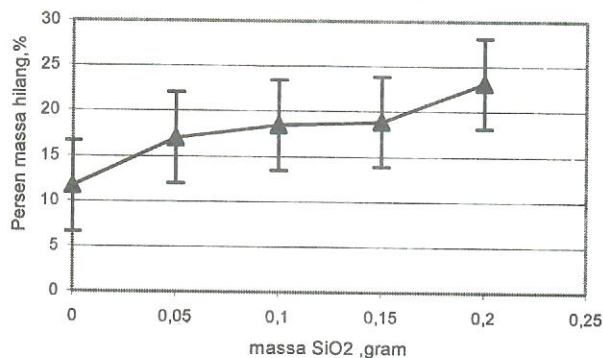
Grafik densitas, persen volum susut dan persen massa hilang masing-masing tersaji dalam gambar 1 ~ 3.



Gambar 1. Kurva hubungan antara densitas dan massa silika (SiO_2).



Gambar 2. Kurva hubungan antara persen volum susut dan massa silika (SiO_2)

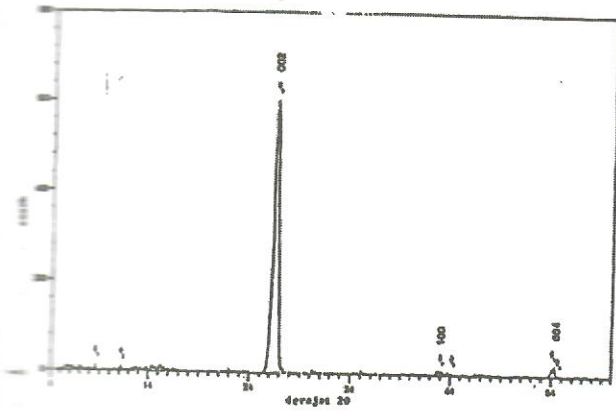


Gambar 3. Kurva hubungan antara persen massa hilang dan massa silika (SiO_2)

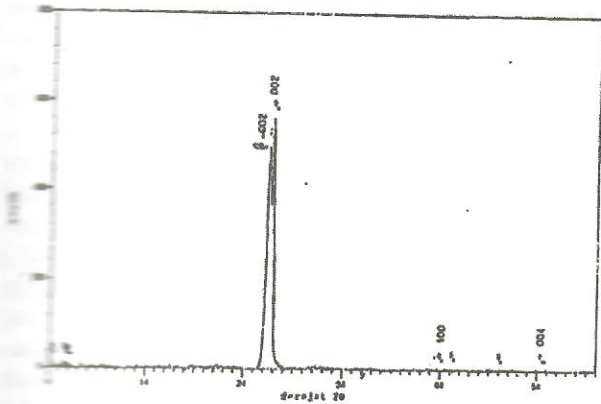
Metode difraksi sinar-x

Cuplikan grafit hasil yang diperoleh itu selanjutnya dikarakterisasi secara mikroskopis dengan metode difraksi sinar-x pada kisaran sudut difraksi antara 0-140°, panjang gelombang (λ) 1,5406 Å dan radiasi CuK- α . Difraktogram dari masing-masing cuplikan dapat dilihat dalam gambar 4 ~ 6.

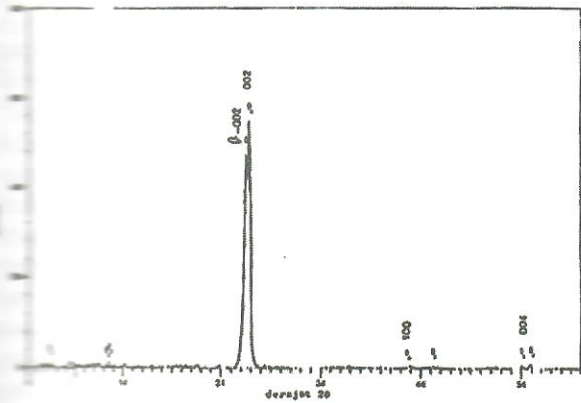
Interpretasi difraktogram dilakukan dengan menggunakan tabel ASTM atau lebih dikenal dengan tabel Hanawalt. Dari pengolahan data difraksi sinar-x itu diperoleh beberapa parameter seperti spasi antar-lapisan (d_{002}), derajat grafritisasi (g) dan indeks grafritisasi (p).



Gambar 4. Hasil pengukuran XRD (X-Ray Diffraction) cuplikan G-1 pada $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ dan dengan radiasi $\text{CuK}\alpha$.



Gambar 5. Hasil pengukuran XRD (X-Ray Diffraction) cuplikan G-3 pada $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ dan dengan radiasi $\text{CuK}\alpha$.



Gambar 6. Hasil pengukuran XRD (X-Ray Diffraction) cuplikan G-5 pada $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ dan dengan radiasi $\text{CuK}\alpha$.

BASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter-parameter fisik yang diturunkan dari hasil pengukuran difraksi sinar-x dan densitas akan digunakan untuk mengkaji pengaruh penambahan silika

(SiO_2) terhadap kualitas proses grafritisasi kokas minyak bumi (*petroleum coke*). Parameter-parameter fisik yang diturunkan dari hasil pengukuran difraksi sinar-x umumnya digunakan untuk menjelaskan aspek mikroskopis dari struktur grafit tiruan yang dihasilkan, sedangkan beberapa parameter yang diturunkan dari hasil pengukuran densitas grafit tiruan dapat digunakan untuk menjelaskan aspek makroskopisnya.

Pada kajian ini telah disiapkan 5 buah cuplikan yang metode preparasinya telah dijelaskan dalam sub-bab *proses pembuatan pelet grafit*. Untuk tinjauan mikroskopis telah diukur 3 buah cuplikan dengan metode difraksi sinar-x, cuplikan-cuplikan tersebut antara lain adalah G-1, G-3 dan G-5.

Tinjauan Makroskopis

Pada tinjauan makroskopis ini digunakan parameter-parameter fisik seperti densitas, persen volum susut dan persen massa hilang. Penggunaan parameter-parameter tersebut didasarkan pada suatu kenyataan bahwa selama perlakuan termal ketiga parameter tersebut mengalami perubahan yang cukup signifikan.

Dari kurva tersebut dapat dilihat bahwa penambahan massa silika akan mengakibatkan peningkatan densitas grafit tiruan. Dari fenomena tersebut terdapat 2 kemungkinan yang dapat dikemukakan untuk menjelaskannya. Pertama, fenomena tersebut merupakan dampak logis dari penambahan densitas dari silika yang ditambahkan pada masing-masing cuplikan yang disiapkan. Kedua, fenomena tersebut adalah sebagai dampak dari aktivitas katalitik dari silika selama perlakuan termal atau grafritisasi. Untuk menjelaskan lebih lanjut fenomena tersebut diperlukan data lain seperti persen volum susut dan persen massa hilang, lihat gambar 2 dan 3.

Kurva hubungan antara persen volum susut dan massa silika ditunjukkan dalam gambar 2. Pada gambar 2 terlihat bahwa dengan bertambahnya massa silika akan mengakibatkan peningkatan persen volum susut. Peningkatan persen volum susut ini secara teoritis berdampak pada penurunan porositas grafit tiruan. Penurunan porositas grafit tiruan ini dinyatakan oleh Vohler, dkk.⁽¹⁾ sebagai dampak logis dari peningkatan derajat grafritisasi (g). Vohler, dkk.⁽¹⁾ lebih lanjut menyatakan bahwa sifat-sifat fisika grafit tiruan yang berkaitan dengan volum tidak hanya bergantung pada suhu maksimum grafritisasi tetapi juga pada laju pemanasan. Dengan demikian peningkatan persen volum susut ini kemungkinan sebagai akibat adanya aktivitas katalitik dari silika selama proses grafritisasi.

Salah satu fenomena yang mengiringi proses grafritisasi adalah terjadinya massa hilang⁽⁴⁾. Hal ini dapat dibuktikan oleh kurva pada gambar 3. Dalam gambar 3 terlihat bahwa dengan bertambahnya massa silika mengakibatkan peningkatan massa hilang. Peningkatan persen massa hilang ini pada umumnya disebabkan oleh lepasnya pengotor-pengotor yang ada dalam cuplikan. Vohler, dkk.⁽¹⁾ menyatakan bahwa selama perlakuan

panas terjadi reaksi antara beberapa logam pengotor maupun logam katalis dengan karbon membentuk senyawa-senyawa karbida, dan pada suhu grafitisasi akan terjadi dekomposisi dan penguapan senyawa-senyawa karbida yang terbentuk. Odening, dkk.⁽⁶⁾ menyatakan bahwa di dalam proses grafitisasi yang umum dilakukan mampu menghilangkan pengotor-pengotor logam seperti Si, Ca, Al dan Mg. Apabila hal tersebut di atas benar maka peningkatan densitas grafit hasil tersebut bukan merupakan dampak logis dari penambahan densitas dari silika yang ditambahkan tetapi semata-mata akibat aktivitas katalitik dari silika; karena menurut Odening, dkk.⁽⁶⁾ bahwa Si akan teruapkan pada suhu grafitisasi.

Dalam tinjauan makroskopi telah terbukti bahwa kenaikan atas densitas grafit hasil bukan merupakan dampak dari penambahan densitas silika yang diberikan, tetapi semata-mata akibat adanya perubahan yang signifikan atas persen volum susut dan persen massa hilang. Namun demikian hal ini belum memberi suatu keyakinan pada kita bahwa hal tersebut merupakan akibat dari aktivitas katalitik dari silika. Salah satu cara selain perhitungan energi aktivasi (E_a) adalah dengan melihat kesempurnaan struktur grafit yang diperoleh menggunakan parameter-parameter yang diturunkan dari hasil pengukuran dengan difraksi sinar-x seperti d_{002} , g dan p .

Tinjauan Mikroskopis

Uji karakterisasi mikroskopis dengan metode difraksi sinar-x bertujuan untuk membuktikan bahwa silika berfungsi secara aktif sebagai katalis pada proses grafitisasi kokas petroleum, karena pada umumnya grafitisasi mengakibatkan perubahan secara signifikan pada parameter-parameter struktural mikroskopis pada materi karbon yang digrafitkan. Indikasi terjadinya peristiwa katalisis ini dapat dilihat dengan parameter-parameter fisik seperti indeks grafitisasi (p), derajat grafitisasi (g) dan spasi antar-lapisan (d_{002}).

Indeks grafitisasi (p) dapat didefinisikan sebagai probabilitas dari kesalahan penumpukan (*stacking error*) atau cacat struktur intrinsik antar bidang-bidang yang berdekatan pada struktur grafit^(7,8). Sedangkan derajat grafitisasi (g) adalah fraksi permukaan lapisan yang sempurna^(7,8). Parameter lain yang banyak digunakan dalam kajian tentang grafit tiruan adalah spasi antar-lapisan (d_{002}), yang mempunyai definisi sebagai spasi antar lapisan pada struktur grafit. Hubungan antar ketiga parameter tersebut dapat dilihat dalam persamaan-persamaan di bawah ini :

$$d_{002} = n\lambda / (2 \sin\theta) \quad (1)$$

$$g = (3,44 - d_{002}) / 0,086 \quad (2)$$

$$g = (1 - p^2) \quad (3)$$

dimana n adalah bilangan bulat positif yang menyatakan order refleksi, λ adalah panjang gelombang dan θ adalah sudut difraksi. Harga tetapan 3,44 adalah harga d dari struktur grafit acak atau turbostratik, harga tetapan 3,354 adalah harga d dari struktur grafit ideal atau heksagonal dan harga tetapan 0,086 adalah harga selisih antara d_{002} struktur grafit turbostratik dengan d_{002} struktur grafit heksagonal.

Interpretasi secara kualitatif terhadap difraktogram dilakukan dengan menggunakan tabel ASTM. Pola difraksi yang ditunjukkan oleh ketiga cuplikan dalam gambar 4 s/d 6 menunjukkan munculnya puncak-puncak khas khas grafit di sekitar sudut difraksi (2θ) 26° dan 54° ^(2,3,4,7,8,9,10). Puncak di sekitar sudut difraksi (2θ) 26° diinterpretasikan sebagai puncak (002), hal ini sesuai dengan hasil interpretasi Braun dan Weisweiler⁽⁹⁾. Sedangkan puncak yang muncul di sekitar sudut difraksi (2θ) 54° diinterpretasikan sebagai puncak (004), hal ini sesuai dengan hasil interpretasi yang dilakukan oleh Fitzer, dkk.⁽¹⁰⁾. Puncak (002) dan (004) ini merupakan puncak-puncak khas hasil refleksi kisi-kisi kristal grafit pada kedudukan (002) dan (004) yang searah dengan sumbu- c ^(2,3,4,7,8,9,10).

Puncak-puncak khas hasil refleksi kisi-kisi kristal grafit yang searah dengan sumbu- a tidak muncul dalam ketiga difraktogram tersebut. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kemunculan puncak (002) dan (004) yang relatif tajam. Menurut Fitzer, dkk.⁽¹⁰⁾ bahwa apabila puncak-puncak hasil refleksi kisi-kisi kristal grafit yang searah sumbu- c muncul relatif tajam maka puncak-puncak hasil refleksi kisi-kisi kristal grafit yang searah sumbu- a akan muncul relatif lemah, lihat gambar 4 s/d 6 pada sudut difraksi (2θ) 42° dan 44° . Secara umum, fenomena ini disebabkan oleh sifat anisotropi badan polikristalin grafit, dan secara khusus fenomena ini di sebabkan oleh derajat orientasi posisi sudut runcing (*angular*) cuplikannya⁽¹⁰⁾.

Dalam gambar 5 dan 6 muncul fenomena yang menarik, yaitu terjadinya pertumpang-tindihan profil puncak yang terletak di sekitar sudut difraksi (2θ) 26° . Dalam penelitian yang dilakukan dengan katalis Ni oleh Otani, dkk.⁽¹¹⁾ diperoleh lebih dari satu pertumpang-tindihan profil puncak (002), selanjutnya hasil interpretasi menyatakan bahwa telah terjadi pembentukan struktur grafitik, turbostratik dan residu karbon-karbon yang tidak tertata baik strukturnya. Karena tidak ada penjelasan yang dapat diberikan secara pasti pada kasus ini maka dalam hal ini dilakukan suatu analogi yang dapat diterima secara ilmiah. Dari suatu analogi yang memperhatikan kedudukan sudut difraksi maka dapat dinyatakan bahwa pada gambar 5 dan 6 yang masing-masing sebagai cuplikan G-3 dan G-5 mengindikasikan terbentuknya struktur grafitik karena harga d_{002} -nya terletak pada kisaran harga d_{002} antara struktur rombohedral dan struktur heksagonal, tetapi tidak dijumpai secara jelas melalui difraktogram (dari sudut difraksi 2θ dan harga d_{002}) suatu struktur turbostratik

maupun residu karbon-karbon yang sangat tidak tertata baik strukturnya.

Untuk cuplikan G-1 (tanpa penambahan silika) memberikan data difraktogram yang menampilkan puncak tunggal 002 di sekitar sudut difraksi (2θ) $26,5^\circ$ dengan intensitas sebesar 604. Cuplikan G-3 (dengan penambahan silika sebesar 0,10 gram) memberikan data difraktogram yang menampilkan dua puncak (β -002 dan 002) yang saling bertumpang-tindih yang masing-masing terletak di sekitar sudut difraksi (2θ) $26,35^\circ$ dan $26,76^\circ$ dengan intensitas masing-masing sebesar 506 dan 562. Sedangkan cuplikan G-5 (dengan penambahan silika sebesar 0,20 gram) memberikan data difraktogram yang menampilkan dua puncak (β -002 dan 002) yang saling bertumpang-tindih yang masing-masing terletak di sekitar sudut difraksi (2θ) $26,46^\circ$ dan $26,76^\circ$ dengan intensitas masing-masing sebesar 472 dan 549. Dari data tersebut terlihat bahwa ada kecenderungan pergeseran puncak 002 ke arah sudut difraksi (2θ) yang membesar. Hal ini mengindikasikan sebagai suatu peningkatan kualitas proses grafitisasi^(7,8). Di samping itu terdapat fenomena yang menarik dari beda intensitas (ΔI) antara puncak 002 dan β -002. Besarnya beda intensitas (ΔI) antara puncak 002 dan β -002 dari cuplikan G-3 dan G-5 masing-masing adalah 56 dan 97; hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan penambahan jumlah massa silika akan mengakibatkan secara tidak langsung pada peningkatan kuantitas kristal grafitik.

Dalam kasus ini harga d_{002} merupakan harga rerata dari harga d_{002} seluruh fasa kristal grafitik dan residu karbon yang strukturnya tidak tertata baik yang mungkin ada dalam cuplikan. Menurut Mateos, dkk.⁽¹²⁾ bahwa di dalam suatu cuplikan grafitik hasil grafitisasi akan mengandung 3 fasa sekaligus yaitu struktur mayor heksagonal, rombohedral dan struktur minor turbostratik, atau dengan kata lain sebagai grafit polikristalin. Harga d_{002} rata-rata dapat dihitung dengan menggunakan rumus seperti di bawah ini :

$$d_{002} \text{ rerata} = \frac{I_1 d_1 + I_2 d_2}{I_1 + I_2} \quad (4)$$

Dimana I_1 adalah cacah pertumpang-tindihan puncak (002) pertama, I_2 adalah cacah pertumpang-tindihan puncak (002) kedua, d_1 adalah spasi antar lapisan pada pertumpang-tindihan puncak (002) pertama dan d_2 adalah spasi antar lapisan pertumpang-tindihan puncak (002) kedua. Selanjutnya hasil perhitungan untuk d_{002} , p dan g disajikan dalam tabel 1.

Dalam perkembangan produksi grafit tiruan menunjukkan bahwa penambahan logam-logam atau mineral-mineral ke dalam suatu materi karbon mampu mempercepat proses grafitisasi. Riset modern telah menunjukkan bahwa grafitisasi katalitik ini dapat terjadi dengan sejumlah mekanisme yang berbeda. Dalam kasus ini tidak dapat diperlihatkan suatu mekanisme katalitik

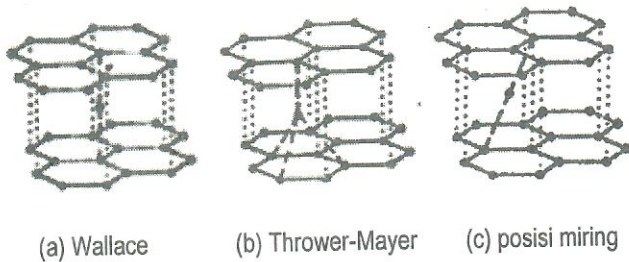
dari silika selama proses grafitisasi, karena dalam riset ini tidak dilakukan pengamatan pada setiap suhu dalam suatu rangkaian grafitisasinya. Namun demikian indikasi aktivitas silika pada grafitisasi dapat dilihat dari kesempurnaan struktur grafit yang diperoleh melalui parameter d_{002} (spasi antar lapisan), g (derajat grafitisasi) dan p (indeks grafitisasi). Kelly (1981)⁽⁷⁾ menyatakan bahwa kelakuan suatu materi karbon selama proses grafitisasi dicirikan dengan perubahan pada parameter-parameter yang merupakan fungsi dari waktu dan suhu, yang biasanya pada pengamatan XRD meliputi spasi antar lapisan (d_{002}), ukuran kristalit arah sumbu-a (L_a) dan ukuran kristalit arah sumbu-c (L_c). Dalam riset ini faktor suhu dan waktu grafitisasi dibuat tetap, demikian juga dengan cara preparasinya. Sedangkan yang menjadi variasi adalah jumlah massa dari katalis silika yang ditambahkan ke dalam setiap cuplikan G-1, G-2, G-3, G-4 dan G-5.

Katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah silika (bentuk kuarsa) dengan kerapatan sebesar 2,6483 g/ml. Dalam proses grafitisasi ini silika beraksi dengan membentuk lelehan logam Si pada permukaan partikel-partikel kokas minyak bumi. Pada suhu grafitisasi, lelehan Si ini akan melarutkan partikel-partikel kokas minyak bumi dan kemudian akan mengendapkannya kembali sebagai grafit (lihat lampiran). Di samping sebagai katalis, silika juga dapat memberikan peningkatan ekspansi termal pada badan karbon yang digrafitkan. Peningkatan ekspansi termal ini akan mengefektifkan perambatan panas yang menuju ke seluruh partikel-partikel kokas minyak bumi, sehingga laju perubahan kokas minyak bumi menjadi grafit akan relatif lebih cepat (lihat tabel 1).

Menurut Reynold (1968)⁽⁸⁾ bahwa pengaruh katalisis ini dicirikan dengan pembelahan ikatan kait-silang (*cross-link bond*) yang merintang proses grafitisasi normal. Peran katalis yang prinsip adalah menurunkan energi aktivasi grafitisasi, sehingga pembelahan ikatan kait-silang (*cross-link bond*) dapat dilakukan pada tingkat energi yang relatif rendah. Proses grafitisasi berlangsung secara cepat terjadi pada suhu di atas 2200°C , pada suhu ini sudah dilampaui proses pembelahan ikatan kait-silang (*cross-link bond*). Pada suhu di bawah 2200°C , proses pembelahan ikatan kait-silang (*cross-link bond*) sedang berlangsung dan prosesnya secara umum berlangsung relatif sangat lambat.

Pada tabel 1 dapat dilihat bahwa harga d_{002} cenderung menurun, harga g cenderung meningkat dan harga p cenderung menurun terhadap peningkatan jumlah massa silika yang ditambahkan ke dalam cuplikan. Secara teoritis kecenderungan ini menunjukkan suatu proses grafitisasi yang dipercepat. Hal ini diperkuat oleh pendapat Kelly (1981)⁽⁷⁾ bahwa pergeseran puncak 002 ke arah sudut yang membesar, atau dengan kata lain harga d_{002} cenderung menurun, dapat diartikan sebagai peningkatan kualitas proses grafitisasi. Peningkatan kualitas proses grafitisasi ini juga dapat diperlihatkan

oleh kenaikan fraksi permukaan lapisan struktur grafitik yang sempurna atau derajat grafritisasi (g). Atau dengan kata lain bahwa cacat intrinsik bidang-bidang lapisan struktur grafitik atau secara spesifik merupakan atom-atom karbon interstisial yang terikat pada permukaannya secara signifikan dapat dikurangi (lihat tabel 1 dan gambar 7).



Gambar 7. Skema atom-atom karbon interstisial yang terikat di antara lapisan-lapisan pada struktur grafitik.

Tabel 1. Parameter-parameter yang diturunkan dari pengukuran dengan XRD (X-Ray Diffraction)

Cuplikan	Puncak β (002)			Puncak (002)			d_{002} rata-rata (Å)	g	p
	2θ (der)	I	d_{002} (Å)	2θ (der)	I	d_{002} (Å)			
G-1	-	-	-	26,5	604	3,361	3,361	0,4535	0,7392
G-3	26,35	506	3,379	26,76	562	3,329	3,353	0,5581	0,6647
G-5	26,46	472	3,366	26,76	549	3,329	3,346	0,6279	0,6100

KESIMPULAN

Dari kajian mikroskopis dan makroskopis cuplikan grafit yang diperlakukan dengan variasi jumlah massa silika (SiO_2) ini maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Secara makroskopis dapat dinyatakan bahwa penambahan silika ke dalam cuplikan karbon yang digrafitikan dapat mengakibatkan kenaikan densitas dari grafit hasil.
2. Kenaikan densitas bukan disebabkan oleh faktor penambahan densitas silika ke dalam cuplikan, tetapi disebabkan oleh besarnya perubahan persen volum susut dan persen massa hilang setelah proses grafritisasi.
3. Secara mikroskopis dapat dinyatakan bahwa penambahan silika ke dalam cuplikan dapat mengakibatkan peningkatan kualitas proses grafritisasi, hal ini ditandai dengan kecenderungan penurunan spasi antar-lapisan (d_{002}), peningkatan

derajat grafritisasi (g) dan penurunan indeks grafritisasi (p).

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Dr. Yateman Arryanto dan Kelompok Material Anorganik FMIPA UGM atas segala informasi yang berhubungan dengan teknologi pembuatan grafit tiruan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. VOHLER, O., STURM, F.V., WEGE, E., *Artificial Graphite, Ullmann's encyclopedia of Industrial Chemistry*, Volume A5, UCH Verlagsgesell Schaft, Weinheim, 1986, p.98-115.
- [2]. YATEMAN, A., ENDANG, T.W., DWI, H., SAHAT, S., Kajian Kristalinitas Grafit Buatan PPNY, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Buku II, 1993, p.95.
- [3]. AUNE, F., BROCKNER, W., ØYE, H.A., *X-Ray Characterization of Cathode Carbon Materials*, *Carbon*, 30, 7, 1992, p.1001-1005.
- [4]. PIERSON, E.L., *Handbook of Carbon, Graphite, Diamond and Fullerenes, Properties, Processing and Applications, first edition*, Noyes Publications, New Jersey, 1993, p. 43-121.
- [5]. STEFAN, J., LUCJAN, W., *Catalytic Effect of Organic Substances On Graphitization of Petroleum Coke*, *Chem. Abst.*, 106, 1987, p.146.
- [6]. ODENING, C.A. AND BOWMAN, J.C., *Recent Developments In Gas Purification of Graphite, Industrial Carbon and Graphite*, *Soc. Of Chem. Ind.*, Metchin and Sons, Ltd., London, 1958, p. 537-543.
- [7]. KELLY, B.T., *Physics of Graphite, first edition*, Applied Science Publisher, London, 1981, p. 1-48.
- [8]. REYNOLDS, W.N., *Physical Properties of Graphite, first edition*, Elsevier Publishing Co. Ltd., Amsterdam, 1968, p. 1-31.
- [9]. BRAUN, W. & WEISWEILER, W., *Quantitative Röntgenographische Bestimmung Des Anteils Einer Gut In Einer Schlechter Kristallin Geordeten Kohlenstoffphase*, *Carbon*, 9, 1971, p.457-465.
- [10]. FITZER, E., ALI, D., RAGOSS, A., *Preferential Crystallographic Orientation In Products of Technical Graphite*, *Industrial Carbon & Graphite*, *Soc. Of Chem. Ind.*, Matchin & Sons, Ltd., London, 1958, p.135-144.
- [11]. ŌTANI, S., ŌYA, A., AKAGAMI, J., *The Effect of Nickel On Structural Development In Carbons*, *Carbon*, 13, 1975, p.353-356.
- [12]. MATEOS, J.M.J., ROMERO, E., DE SALAZAR, C.G., *XRD Study of Petroleum Coke By Line Profile Analysis : Relations Among Heat Treatment, Structure, and Sulphur Content*, *Carbon*, 31, 7, 1993, p.1159-1178.

TANYA – JAWAB

Penanya : Mardiyanto (P3IB-BATAN)

1. Apakah manfaat grafit tiruan yang dibuat tersebut ?
2. Berapakah jumlah silika yang dikecilkan agar optimum ?

Jawaban :

1. Sebagai moderator dalam reaktor nuklir, untuk bahan dasar pembuatan fl, sebagai elektroda, dll
2. Penambahan additiv < 2 % berat. Kalau lebih akan mengakibatkan efek negatif pada temperatur tinggi.

Penanya : Refai Muslih (P3IB-BATAN)

Apakah tipe furnace yang digunakan sehingga bisa mencapai temperatur pemanasan 3000 °C ?

Jawaban :

Furnace di PPNY-BATAN Yogyakarta. Temperatur maksimum yang dapat dicapai 2500 °C, namun karena ada masalah pada sistem pendinginan sehingga digunakan pada temperatur 2000 °C. Hal ini juga mempertimbangkan kondisi struktur yang optimal di temperatur 2000 °C.
