

Sintesis dan Karakterisasi Komposit Silika Karbon dari Abu *Bagasse* (Ampas Tebu)

Muhammad Mufti Wibawa, Muhammad Athallah Rifqi Shafwan, Sutiyono*

Program Studi Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: sutiyono.tk@upnjatim.ac.id

Diterima: 29 April 2025

Disetujui: 18 Mei 2025

Abstract

Silica carbon composite is a mixture of polar inorganic silica and non-polar organic carbon. One of the applications of this composite is as an effective adsorbent, capable of absorbing metal ions. Bagasse ash is a material that contains a relatively high amount of silica. In this study, bagasse ash will be utilized as a constituent in the fabrication of silica-carbon composites. In this study, bagasse ash was extracted with NaOH at concentrations of 1N, 1.5N, 2N, 2.5N, and 3N. The filtrate from the extraction, in the form of Na₂SiO₃, will undergo dilution with demineralized water at a ratio of 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, and 1:5. The variation in NaOH concentration and Na₂SiO₃ dilution ratio is designed to ascertain the impact of these conditions and conditions with the Si/C content most analogous to the optimum Si/C ratio. The findings indicated that the optimal silica carbon composite was achieved at a NaOH concentration of 1.5, with a silica content of 68.3% and a carbon content of 25.76%, resulting in a Si:C ratio of 2.65:1. In contrast, a NaOH concentration of 2N, with a silica content of 55.58% and a carbon content of 35.97%, yielded a Si:C ratio of 1.54:1. The results of the XRD analysis demonstrated that the silica carbon composite did not exhibit any crystalline phase peaks. Instead, a range of 15–30° was observed, with the highest peak located at $2\theta = 30.1226^\circ$. This finding indicates that the silica carbon composite is amorphous.

Keywords: carbon, composite, silica, sol-gel, bagasse

Abstrak

Komposit silika karbon ialah perpaduan antara silika yang bersifat polar anorganik dan karbon yang bersifat non polar organik yang salah satu pengaplikasiannya dapat berfungsi sebagai adsorben yang efektif untuk menyerap ion-ion logam. Abu Bagasse merupakan salah satu bahan dengan kandungan silika yang cukup tinggi sehingga dalam penelitian ini abu bagasse akan digunakan sebagai bahan dalam pembuatan komposit silika karbon. Pada penelitian ini, abu bagasse diekstraksi dengan NaOH berkonsentrasi 1N, 1,5N, 2N, 2,5N, dan 3N. Filtrat dari ekstraksi tersebut yang berupa Na₂SiO₃ akan diencerkan dengan air demineralisasi dengan rasio pengenceran 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, dan 1:5. Perbedaan konsentrasi NaOH dan rasio pengenceran Na₂SiO₃ dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh dari kondisi tersebut serta kondisi dengan kandungan Si/C yang paling mendekati rasio Si/C optimum. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa komposit silika karbon terbaik yaitu pada konsentrasi NaOH 1,5 dengan kandungan silika 68,3% dan karbon 25,76% atau rasio Si:C sebesar 2,65:1 serta konsentrasi NaOH 2N dengan kandungan silika 55,58% dan karbon 35,97% atau rasio Si:C sebesar 1,54:1. Hasil analisis XRD didapatkan komposit silika karbon tidak memperlihatkan adanya puncak-puncak fasa kristalin serta didapatkan puncak-puncak dengan rentang 15-30° dengan puncak tertingginya terletak pada $2\theta = 30.1226^\circ$ sehingga dapat disimpulkan bahwa komposit silika karbon memiliki fasa amorf.

Kata Kunci: karbon, komposit, silika, sol-gel, bagasse

1. Pendahuluan

Ampas tebu (bagasse) adalah produk limbah yang dihasilkan pada proses produksi gula [1]. Menurut data yang diperoleh dari P3GI (Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia) bahwa 62 pabrik gula di Indonesia menghasilkan ampas tebu sebanyak 2,991 juta ton per tahun [2]. Saat ini, pabrik gula di Indonesia terus beroperasi dengan kapasitas yang bervariasi, menghasilkan sejumlah besar abu ampas tebu sebagai limbah dari pembakaran ampas tebu di boiler. Jumlah abu ampas tebu yang dihasilkan sekitar 0,3% dari berat tebu. Oleh karena itu, jika pabrik gula berkapasitas 5000 ton per hari, maka abu ampas tebu yang dihasilkan adalah 15 ton per hari [3]. Abu ampas tebu ini diketahui memiliki kandungan silika yang tinggi, menurut [4] abu bagasse mengandung silika sebesar lebih dari 50%. Maka dari itu, dikarenakan abu bagasse memiliki kandungan silika yang tinggi serta untuk meningkatkan nilai ekonomisnya, abu ampas tebu dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan silika gel.

Silika gel umumnya digunakan sebagai adsorben karena berbagai keunggulan, yaitu bersifat inert, hidrofilik, dan stabilitas termal serta mekanik yang cukup tinggi. Silika gel bukanlah penyerap yang baik untuk ion logam berat karena kekurangannya, antara lain efektivitas permukaan dan selektivitas yang rendah dalam interaksinya dengan ion logam berat [5]. Untuk mengisi kekurangan tersebut silika gel dapat dimodifikasi dengan karbon menjadi komposit silika karbon. Karbon yang berupa karbon aktif umumnya digunakan sebagai adsorben universal dalam dunia industri karena luas permukaannya yang besar dan sifat hidrofobiknya [6]. Struktur yang berpori membuat karbon aktif banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti sebagai adsorben logam berat [7]. Oleh karena itu, dengan mengombinasikan silika gel dengan karbon maka dapat mengatasi kekurangan silika gel yaitu ketidakefektifannya dalam menyerap logam berat. Menurut [8], pengkompositan antara kedua bahan tersebut dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mensintesis komposit silika-karbon adalah metode sol-gel. Metode ini memiliki berbagai keunggulan, antara lain: prosesnya yang sederhana, dapat dilakukan pada suhu rendah, dapat digunakan di segala situasi, dan menghasilkan produk dengan kemurnian dan homogenitas yang sangat baik [9]. Salah satu penelitian yang telah dilakukan untuk mendapatkan komposit silika-karbon dengan metode sol-gel dilakukan oleh [10] di mana pada penelitiannya arang sekam padi diekstraksi dengan kalium karbonat untuk memisahkan karbon dan silika (SiO_2). Setelah itu, SiO_2 diekstraksi dengan NaOH untuk menghasilkan Na_2SiO_3 serta menambahkan karbon lalu dipanaskan dan diaduk pada suhu 80°C . Ditambahkan larutan asam klorida tetes demi tetes hingga pH-nya netral dan diaduk hingga 3 jam pada suhu 80°C . Setelah menambahkan aquadest untuk mengubah struktur sol menjadi gel dan diaduk perlahan selama 12 jam pada suhu kamar, karbon akan melekat pada struktur sol $\text{Si}(\text{OH})_4$. Selanjutnya, campuran disaring dan didapatkan residu yang merupakan komposit silika-karbon.

Saat ini, penelitian mengenai sintesis komposit silika-karbon dari abu bagasse masih sangat sedikit. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan sintesis komposit silika karbon dengan metode sol-gel dengan menggunakan bahan baku abu bagasse sebagai prekursor silika dan asam tartrat sebagai prekursor karbon. Pada penelitian ini akan dipelajari pengaruh dari konsentrasi NaOH dan rasio pengenceran Na_2SiO_3 agar dapat mengetahui pada perlakuan konsentrasi NaOH dan rasio pengenceran Na_2SiO_3 seperti apa yang akan menghasilkan komposit silika karbon dengan komposisi Si dan C tertinggi. Karakterisasi dengan analisa XRF dilakukan untuk mengetahui komposisi komposit silika karbon serta dilakukan juga analisa XRD untuk mengetahui jenis fasa pada komposit silika karbon

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan dalam proses pembuatan komposit silika karbon adalah Abu Bagasse (ampas tebu), natrium hidroksida, asam tartrat, dan air demineralisasi. Alat yang digunakan adalah magnetic stirrer, beaker glass, neraca analitik, pH meter, furnace, pipet tetes, spatula, kertas saring, oven, gelas ukur, termometer, mortar dan alu.

2.2 Prosedur Penelitian

Proses Ekstraksi Silika

Abu *bagasse* yang didapatkan dari pabrik gula dilakukan pengabuan pada suhu 700°C selama 2 jam sehingga didapatkan sampel abu *bagasse*. Bahan abu *bagasse* dengan berat 20 gram dan larutan NaOH 200 ml dengan variasi konsentrasi 1N ; 1,5N ; 2N ; 2,5N dan 3N yang telah dibuat sebelumnya dicampurkan dan dilakukan ekstraksi di dalam rangkaian alat ekstraksi pada suhu 100°C selama 1 jam pada kecepatan pengadukan 500 rpm. Larutan tersebut disaring dan diambil filtratnya yang merupakan larutan natrium silikat.

Proses Sintesis Silika Gel

Natrium silikat dilakukan pengenceran dengan air demineralisasi dengan variasi rasio pengenceran yaitu 1:1 ; 1:2 ; 1:3 ; 1:4 ; dan 1:5. Menyiapkan larutan asam tartrat dengan konsentrasi 4M. Campurkan natrium silikat dengan larutan asam tartrat 4M dan dilakukan pengadukan selama 3 menit pada suhu ruang dengan pH sesuai variabel tetap yakni pH 4. Setelah tercampur dan mencapai pH yang diinginkan, dilakukan proses *aging* selama 24 jam pada suhu ruang. Setelah terbentuk gel-gel silika, lalu dilakukan proses penyaringan untuk memisahkan gel-gel silika dari air. Silika gel yang telah disaring kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 100°C selama 24 jam. Setelah dikeringkan, silika gel kemudian dihaluskan menggunakan *grinder* hingga halus.

Proses Karbonisasi

Karbonisasi dilakukan pada silika gel pada suhu 400°C selama 4 jam sehingga terbentuk komposit silika-karbon. Selanjutnya, komposit silika-karbon ini akan dilakukan analisa XRF untuk mengetahui % yield silika dan XRD untuk mengetahui jenis padatannya.

Proses Pembakaran Karbon

Pembakaran karbon dilakukan pada suhu 800°C selama 2 jam yang bertujuan untuk mengetahui massa karbon dari komposit silika/karbon dengan menganggap massa yang hilang adalah massa karbon.

Analisa

Pada penelitian ini dilakukan analisa XRF untuk menganalisa jenis unsur serta komposisi unsur komposit silika karbon yang dihasilkan. Selain itu, dilakukan juga analisa XRD untuk menganalisa jenis struktur pada komposit silika karbon yang dihasilkan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Analisa XRF

Hasil analisa XRF dilakukan untuk mengetahui jumlah kandungan silika pada komposit silika karbon. Sampel yang dianalisa berjumlah 9 sampel yakni sampel dengan konsentrasi NaOH 1N ; 1,5N ; 2N ; dan 2,5N yang memiliki rasio pengenceran 1:5 serta sampel dengan rasio pengenceran 1:1 ; 1:2 ; 1:3 ; 1:4 ; 1:5 yang memiliki konsentrasi NaOH 3N. Adapun alasan pemilihan 9 sampel tersebut dikarenakan 9 sampel tersebut diduga dapat menunjukkan pengaruh dari variabel konsentrasi NaOH dan rasio pengenceran terhadap kandungan silika dan karbon pada komposit silika karbon. Hasil analisa XRF pada komposit silika karbon disajikan dalam **Tabel 1** berikut.

Tabel 1. Hasil Analisa XRF beberapa sampel komposit silika karbon

Unsur	Kandungan (%)								
	1N 1:5	1,5N 1:5	2N 1:5	2,5N 1:5	3N 1:1	3N 1:2	3N 1:3	3N 1:4	3N 1:5
Si	87,5	92	86,8	83,1	73,9	69,4	67,2	77,9	82,9
P	2,4			2,7	3,2	3,8	4,1	3	3
K	7,97	5,85	10,2	9,01	17,9	20,7	21,4	14,4	11,1
Ca	1,5	1,4	1,9	1,9	2,2	2,7	3	2,3	2
Fe	0,36	0,24	0,55	0,66	0,99	1,4	1,5	1,1	0,79
Ni	0,09	0,03	0,11	0,097	0,15	0,1	0,24	0,06	
Cu	0,19	0,14	0,25	0,23	0,37	0,42	0,5	0,3	0,26
Yb		0,2				0,2		0,4	
Zn				2,33	0,09		0,1		
Re					0,3		0,6	0,59	
Cr		0,096				0,21	0,25		
W					0,82	0,95	1,1		

Sumber: Lab. Mineral & Material Maju UM, 2025

Berdasarkan **Tabel 1** menunjukkan hasil bahwa komponen utama dalam komposit silika karbon adalah Si yaitu berkisar antara 67%-92%, sedangkan kandungan komponen lainnya relatif kecil hanya sekitar <21%. Hal ini menunjukkan bahwa pada komposit silika karbon mengandung persentase Si yang dominan. Menurut (Sanjaya, 2021)[11] analisa XRF memiliki kekurangan yakni tidak dapat mendeteksi unsur karbon. Hal ini sesuai dengan hasil analisa XRF yang didapat yang menunjukkan tidak adanya unsur karbon. Hasil analisa XRF ini nantinya akan digunakan sebagai data untuk menghitung jumlah kandungan silika yang sebenarnya.

3.2 Perhitungan Yield % Silika dan Karbon

Perhitungan jumlah kandungan silika dan karbon diawali dengan menghitung jumlah kandungan karbon terlebih dahulu.

Tabel 2. Perhitungan Jumlah Kandungan Silika dan Karbon pada Rasio Pengenceran 1:5 dengan Variasi Konsentrasi NaOH

Sampel	% Si (XRF)	Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Massa C (gr)	Massa Si (gr)	%C	%Si Aktual	% Si/C
1N 1:5	87,5	9,40	7,69	1,71	6,73	18,14	71,63	87,77
1,5N 1:5	92	13,19	9,79	3,40	9,01	25,76	68,3	92,06
2N 1:5	86,8	22,48	14,4	8,09	12,49	35,97	55,58	91,55
2,5N 1:5	83,1	24,93	15,87	9,06	13,19	36,19	52,9	89,24
3N 1:5	82,9	46,39	18,78	27,61	15,57	59,52	33,56	93,08

Tabel 3. Perhitungan Jumlah Kandungan Silika dan Karbon pada Konsentrasi NaOH 3N dengan Variasi Rasio Pengenceran

Sampel	% Si (XRF)	Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Massa C (gr)	Massa Si (gr)	%C	%Si Aktual	% Si/C
3N 1:1	73,9	38,54	23,68	14,86	17,50	38,55	45,41	83,96
3N 1:2	69,4	41,19	25,26	16,15	17,53	39,00	42,33	81,33
3N 1:3	67,2	51,93	28,06	23,87	18,86	45,97	36,31	82,28
3N 1:4	77,9	44,07	19,10	24,97	18,83	56,66	35,93	92,59
3N 1:5	82,9	46,39	18,78	27,61	15,57	59,52	33,56	93,08

Menurut Tianhao (2022), pembakaran silika karbon pada suhu 800°C dapat menghilangkan karbon, karena itu maka kandungan karbon dapat ditentukan dengan mengetahui massa karbon yang hilang setelah pembakaran. Massa dari karbon yang hilang didapat dengan cara

$$\text{Massa Awal} - \text{Massa Akhir} = \text{Massa Karbon} \quad (1)$$

$$\frac{\text{Massa Karbon}}{\text{Massa Awal}} \times 100\% = \% \text{ Yield Karbon} \quad (2)$$

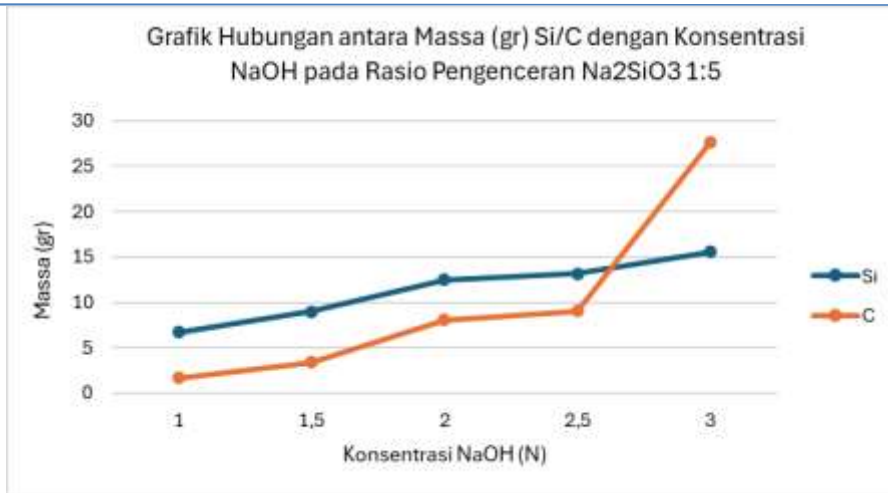
Pembakaran komposit silika karbon menyisakan silika, namun karena silika yang didapat masih mengandung *impurities* maka perlu dilakukan perhitungan lebih lanjut untuk mendapatkan jumlah kandungan silika aktual.

$$\text{Massa Akhir} \times \% \text{ XRF Silika} = \text{Massa Silika} \quad (3)$$

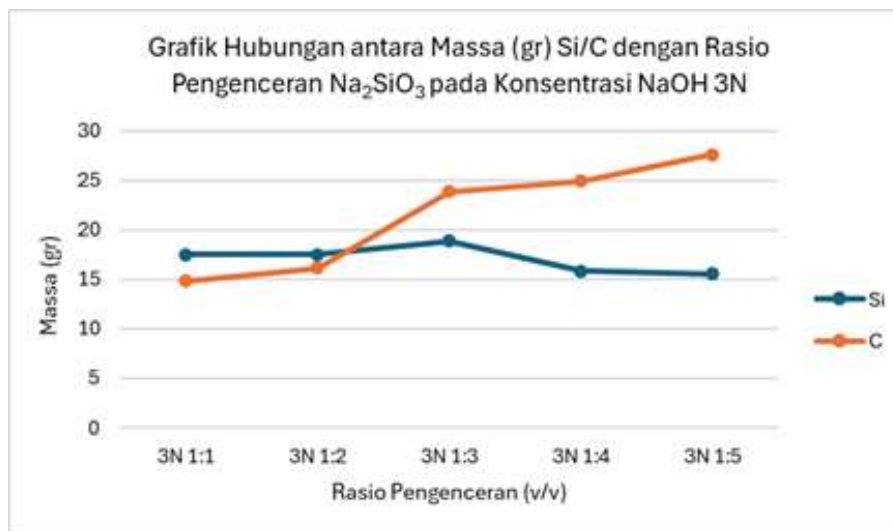
$$\frac{\text{Massa Silika}}{\text{Massa Awal}} \times 100\% = \% \text{ Yield Silika Aktual} \quad (4)$$

3.3 Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Rasio Pengenceran Na₂SiO₃ terhadap Massa Si/C

Berdasarkan **Gambar 1** didapatkan massa Si meningkat dikarenakan semakin banyak silika (SiO₂) yang bereaksi dengan NaOH seiring dengan meningkatnya konsentrasi NaOH sedangkan pada **Gambar 2** didapatkan massa Si yang berdekatan meskipun fluktuatif. Menurut Kong (2024) ini terjadi karena pada konsentrasi NaOH yang lebih tinggi, ion OH⁻ lebih sering bertabrakan (berinteraksi) dengan residu (silika yang belum larut) akibatnya lebih banyak SiO₂ yang terekstraksi. Sedangkan baik pada **Gambar 1** atau **2** massa C selalu meningkat hal ini disebabkan penggunaan asam tartrat yang semakin banyak seiring meningkatnya konsentrasi NaOH maupun rasio pengenceran. Sesuai dengan penelitian Haili (2014) karena asam tartrat merupakan prekursor karbon maka kandungan karbon akan meningkat seiring dengan meningkatnya penggunaan asam tartrat.



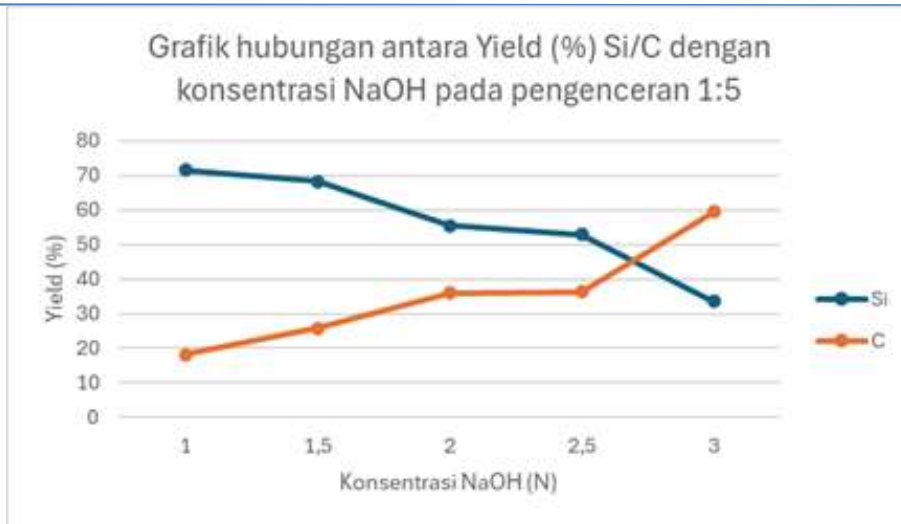
Gambar 1. Hubungan Konsentrasi NaOH dengan Massa Si/C pada Rasio Pengenceran Na₂SiO₃ 1:5
 Sumber : Hasil Analisis (2025)



Gambar 2. Hubungan Rasio Pengenceran Na₂SiO₃ dengan massa Si/C pada Konsentrasi NaOH 3N
 Sumber : Hasil Analisis (2025)

3.4 Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Rasio Pengenceran Na₂SiO₃ terhadap Yield (%) Si/C

Berdasarkan **Gambar 3** didapatkan hubungan antara konsentrasi NaOH dengan yield (%) silika berbanding terbalik. Hal ini sesuai dengan penelitian (Bakhrie, 2019) yang menunjukkan bahwa kemurnian bubuk silika yang dihasilkan menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi NaOH. Sedangkan hubungan antara konsentrasi NaOH dengan yield (%) karbon berbanding lurus. Hal ini dikarenakan meningkatnya konsentrasi NaOH menyebabkan penggunaan asam tartrat yang juga meningkat.



Gambar 3. Hubungan Konsentrasi NaOH dengan Yield (%) Si/C pada Rasio Pengenceran Na₂SiO₃ 1:5
 Sumber : Hasil Analisis (2025)



Gambar 4. Hubungan Rasio Pengenceran Na₂SiO₃ dengan Yield (%) Si/C pada Konsentrasi NaOH 3N
 Sumber : Hasil Analisis (2025)

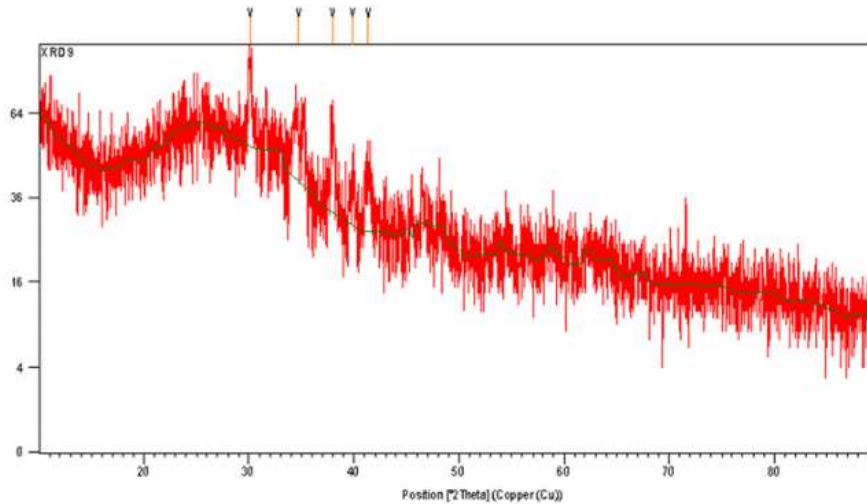
Berdasarkan **Gambar 4** didapatkan hubungan antara yield (%) silika dengan rasio pengenceran adalah berbanding terbalik sedangkan hubungan antara yield (%) karbon dengan rasio pengenceran adalah berbanding lurus. Yield (%) Si mengalami penurunan, di mana hal ini sesuai dengan penelitian menurut (Muljani, 2018) semakin kecil rasio pengenceran, maka larutan akan lebih pekat sehingga hasil yield yang dihasilkan semakin kecil, hal ini disebabkan dengan semakin tinggi konsentrasi maka jarak antar molekul akan semakin rapat dan pori-pori yang terbentuk pada gel silika akan semakin kecil sehingga air sulit berdifusi. Semakin besar rasio pengenceran maka jarak antar molekul semakin besar sehingga diperlukan asam tartrat yang lebih banyak yang menyebabkan peningkatan yield (%) C.

Menurut Rochliadi (2023), pada pengaplikasian komposit silika karbon sebagai anode baterai lithium ion diketahui rasio silika terhadap karbon yang paling optimum adalah 3:1. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa rasio Si/C yang paling mendekati rasio optimum sebagai anode baterai lithium ion adalah komposit silika karbon dengan konsentrasi NaOH 1,5N dan rasio pengenceran Na₂SiO₃ 1:5 dengan kandungan silika 68,3% dan karbon 25,76% atau rasio Si:C sebesar 2,65:1.

Sedangkan, pada pengaplikasian yang lain seperti adsorben, komposit silika karbon sebagai adsorben ion logam tembaga (II) yang paling optimum berada pada rasio silika terhadap karbon 2:1 (Haryono, 2023). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa rasio Si/C yang paling mendekati rasio optimum sebagai adsorben ion logam tembaga (II) adalah sampel dengan konsentrasi NaOH 2N dan rasio pengenceran Na₂SiO₃ 1:5 dengan kandungan silika 55,58% dan karbon 35,97% atau rasio Si:C sebesar 1,54:1.

3.5 Hasil Analisa XRD

Berdasarkan **Gambar 5** diketahui bahwa hasil karakterisasi XRD komposit silika karbon 3N 1:5 menunjukkan bahwa komposit silika karbon tidak memperlihatkan adanya puncak-puncak stabil yang menunjukkan fasa kristal sehingga dapat dikatakan komposit silika/karbon memiliki fasa amorf dengan puncak tertinggi terletak pada $2\theta = 30.1226^\circ$. Hal ini menunjukkan bahwa hasil analisa telah sesuai dengan penelitian Jabkhiro (2025) yang menyatakan pola XRD yang menunjukkan fasa amorf ditandai oleh puncak 2θ yang berada pada rentang $15-30^\circ$. Selain itu fasa amorf juga dapat diketahui dari tidak adanya puncak tajam yang menunjukkan fasa kristal.



Gambar 5. Hasil Analisa XRD Komposit Silika Karbon 3N 1:5
Sumber: Lab. Mineral & Material Maju UM, 2025

4. Kesimpulan

Komposit silika karbon telah berhasil disintesis dari abu bagasse menggunakan metode sol gel dengan kemurnian Si/C tertinggi sebesar 93,08%. Didapatkan rasio Si/C yang paling mendekati rasio optimum sebagai anode baterai lithium ion adalah 2,65:1 sedangkan sebagai adsorben ion logam tembaga (II) yang paling mendekati rasio optimum adalah 1,54:1, maka dapat disimpulkan sintesis komposit silika karbon dari abu bagasse dapat memenuhi standar-standar rasio optimum pada berbagai industri. Berdasarkan analisa XRD dapat disimpulkan bahwa komposit silika/karbon memiliki fasa amorf yang ditandai dengan adanya puncak tertinggi yang terletak pada $2\theta = 30.1226^\circ$.

5. Referensi

- [1] Azmiyawati, C, Narsito, Nuryono, (2005) "Thermodynamic of Mg(II), Cd(II), and Ni(II) Adsorption on Sulfonic Modified Silica Gel", Indo. J. Chem, Vol. 5, No. 1, hh. 31-35
- [2] Bakhri, A.L. (2019), Pengaruh Konsentrasi NaOH Terhadap Optimasi Ekstraksi Silika dari Abu Bagasse sebagai Bahan Fortifikasi Pupuk Si-N-P-K, Universitas Brawijaya.
- [3] Chen, C., Zhao, P., Li, Z., Tong, Z. (2016), "Adsorption behavior of chromium(VI) on activated carbon from eucalyptus sawdust prepared by microwave assisted activation with ZnCl₂", Desalination and Water Treatment, Vol. 57, hh. 12572-12584
- [4] Eddy, D.R., Noviyanti, A.R., Janati, D. (2016), "Sintesis Silika Metode Sol-Gel Sebagai Penyangga Fotokatalis TiO₂ Terhadap Penurunan Kadar Kromium Dan Besi", Jurnal Sains Materi Indonesia, Vol. 17, No. 2, hh. 82-89
- [5] Jabkhiro, H (2025), One-Pot Synthesis of Zinc-Doped Mesoporous Silica, *Crystals*, 15, pp. 1-14
- [6] Muljani, S (2018), Sintesis Membran Kitosan Silika Dari Geothermal Sludge, Surabaya : UPN "Veteran" Jawa Timur.
- [7] Haili, G et al (2014), "Tartaric acid assisted synthesis of Li₂FeSiO₄/C: Effect of carbon content on the electrochemical performance of Li₂FeSiO₄/C for lithium ion batteries", *Powder Technology*, Vol. 253, hh. 638-643.
- [8] Han, S.H., Kim, G.W., Jung, C.H, Lee, Y.M., (2008), "Control of Pore Characteristics in Carbon Molecular Sieve Membranes (CMSM) Using Organic/Inorganic Hybrid Materials". Elsevier Journal: Desalination 233, hh. 88-95.

- [9] Haryono, Noviyanti, A.R., Ernawati, E.E. (2023), “Sintesis, Karakterisasi, dan Uji Adsorpsi Komposit Silika/Karbon dari Limbah Sekam Padi sebagai Adsorben Tembaga (II)”, *Jurnal Teknologi Lingkungan*, Vol. 24, No. 1, hh. 58-66. Adsorpsi Komposit Silika/Karbon dari Limbah Sekam Padi sebagai Adsorben Tembaga (II)”, *Jurnal Teknologi Lingkungan*, Vol. 24, No. 1, hh. 58-66
- [10] Kong, D. et al (2024),” Kinetics and Mechanism of SiO₂ Extraction from Acid-Leached Coal Gangue Residue by Alkaline Hydrothermal Treatment” *Materials*, Vol. 17, No. 4168, hh. 1-14
- [11] Rochliadi, A. (2023),” Pengaruh Perbandingan Massa Silikon/Silika terhadap Karbon pada Kinerja Anode Baterai Litium Ion dari Sekam Padi”, *Jurnal Riset Kimia*, Vol. 14, No. 2, hh. 226-238
- [12] Sanjaya, T. (2021), “Analisa Kekerasan, Struktur Mikro Dan Kesesuaian Komposisi Pada Material Disc Overlay Gate Valve SS410”, *Jurnal Teknik Mesin: Cakram*, Vol. 4, No. 2, hh. 88-95
- [13] Tianhao et al (2022), “Recent Advances in Carbon-Silica Composites: Preparation, Properties, and Applications”, *Catalysts*. Vol. 12, No.573, hh.1-28