

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini berfokus pada sintesis silika gel berbasis limbah pertanian, yaitu abu sekam padi, campuran abu sekam padi dan abu ampas tebu dengan perbandingan 1:1, serta abu ampas tebu. Variabel tetap dalam penelitian ini meliputi massa bahan baku, volume larutan yang digunakan, konsentrasi larutan HCl, serta kondisi proses sintesis. Variabel bebas yang digunakan adalah konsentrasi larutan natrium hidroksida (NaOH) pada tahap ekstraksi silika, yaitu 1 N, 1,5 N, 2 N, 2,5 N, dan 3 N.

Parameter yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas dan karakteristik silika gel meliputi pengujian rendemen, kadar air, daya serap, serta karakterisasi menggunakan metode *X-Ray Diffraction (XRD)*. Pengujian tersebut dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi NaOH terhadap karakteristik silika gel yang dihasilkan dari abu sekam padi, campuran abu sekam padi dan abu ampas tebu (1:1), serta abu ampas tebu. Hasil analisis karakteristik silika gel dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Sintesis Silika Gel dari sekam padi dan ampas tebu

Komposisi Bahan Baku (gr)	Konsentrasi NaOH (N)	Rendemen (%)	Kadar Air (%)	Daya Serap (%)
20 : 0	1	31,70	3,99	34,71
	1,5	32,85	4,40	35,17
	2	39,90	4,59	37,31
	2,5	41,05	4,75	36,87
	3	40,70	4,86	32,96
10 : 10	1	24,10	4,49	31,48
	1,5	25,90	4,70	32,39
	2	28,10	4,90	32,53
	2,5	27,35	5,05	31,49
	3	26,65	5,15	30,07
0 : 20	1	16,40	5,00	27,10
	1,5	18,10	5,10	28,17
	2	20,10	5,24	28,93
	2,5	20,90	5,35	27,81
	3	20,45	5,40	26,69
JIS Silika Gel			2,5% Max	41% Min

4.2 Pembahasan

Abu sekam padi merupakan limbah biomassa yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku sintesis silika gel karena memiliki kandungan silika (SiO_2) yang tinggi. Kandungan silika pada abu sekam padi umumnya berkisar antara 80–95%, bergantung pada kondisi pembakaran dan proses pengolahannya. Tingginya kandungan silika tersebut menjadikan abu sekam padi sebagai salah satu sumber silika alami yang banyak dimanfaatkan dalam sintesis silika gel dan berbagai material berbasis silika. (Islam et al., 2024).

Pada penelitian ini, sintesis silika gel dilakukan menggunakan metode sol-gel melalui proses ekstraksi silika menggunakan larutan NaOH. Larutan NaOH berfungsi melarutkan silika *amorf* dari abu sekam padi sehingga membentuk larutan natrium silikat (Na_2SiO_3). Selanjutnya, larutan natrium silikat direaksikan menggunakan larutan HCl hingga terbentuk silika gel melalui proses pengasaman. Metode sol-gel banyak digunakan karena mampu menghasilkan silika dengan kemurnian tinggi, ukuran partikel yang seragam, dan struktur *amorf* yang sesuai untuk berbagai aplikasi. (Setiawati et al., 2024).

Variasi konsentrasi NaOH memengaruhi jumlah silika yang berhasil diekstraksi dari abu sekam padi. Semakin tinggi konsentrasi NaOH hingga kondisi optimum, semakin besar jumlah silika yang larut membentuk natrium silikat sehingga rendemen silika gel meningkat. Namun, apabila konsentrasi NaOH terlalu tinggi, proses pengendapan silika dapat menjadi kurang optimal sehingga kualitas silika gel yang dihasilkan dapat menurun (Rahim et al., 2024).

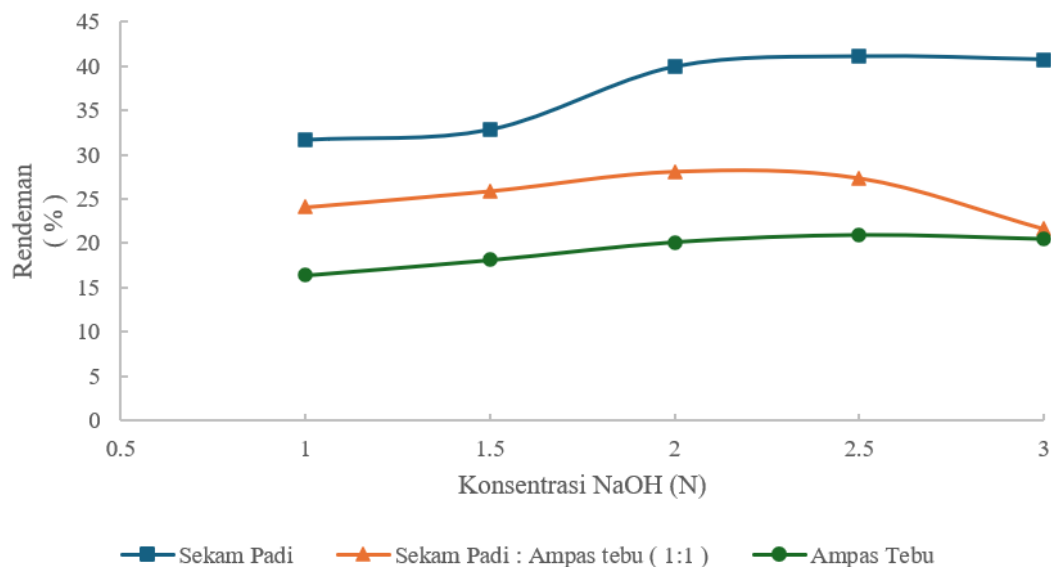
Silika gel yang dihasilkan pada penelitian ini berbentuk padatan berwarna putih dengan tekstur rapuh dan mudah dihancurkan menjadi partikel yang lebih kecil. Warna putih menunjukkan bahwa proses ekstraksi dan pencucian berlangsung dengan baik sehingga kandungan pengotor relatif rendah. Selain itu, struktur berpori yang terbentuk merupakan karakteristik khas silika gel yang berpotensi digunakan sebagai adsorben karena memiliki luas permukaan yang tinggi. (Islam et al., 2024).

Hasil karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)* menunjukkan bahwa silika gel umumnya memiliki pola difraksi berupa *broad peak* pada rentang

sudut 2θ sekitar $20\text{--}25^\circ$, yang mengindikasikan bahwa silika yang terbentuk didominasi oleh fase *amorf* (Islam et al., 2024). Struktur *amorf* tersebut merupakan karakteristik khas silika gel hasil sintesis menggunakan metode *sol-gel* karena atom-atom penyusun silika belum tersusun secara teratur dalam kisi kristal sehingga menghasilkan material dengan luas permukaan dan porositas yang tinggi (Setiawati et al., 2024).

4.2.1 Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Jenis Bahan Baku terhadap Rendemen Silika Gel

Rendemen digunakan untuk menggambarkan efisiensi proses sintesis silika gel, yaitu melalui perbandingan antara massa silika gel yang diperoleh terhadap massa bahan baku yang digunakan, yang dinyatakan dalam persen. Gambar grafik pengaruh konsentrasi NaOH dan jenis bahan Baku terhadap Rendemen Silika Gel dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Grafik Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Jenis Bahan Baku terhadap Rendemen Silika Gel

Berdasarkan Gambar 4.1, peningkatan konsentrasi NaOH pada ketiga jenis bahan baku umumnya diikuti oleh meningkatnya nilai rendemen hingga mencapai konsentrasi optimum. Namun, pada konsentrasi yang lebih tinggi, rendemen cenderung stabil atau mengalami sedikit penurunan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kemampuan larutan NaOH dalam melarutkan silika memiliki batas tertentu, sehingga penambahan konsentrasi basa yang berlebihan tidak selalu menghasilkan peningkatan rendemen silika gel. Hal ini terjadi karena semakin tinggi konsentrasi

NaOH maka semakin banyak silika yang dapat terlarutkan menjadi natrium silikat, namun pada konsentrasi yang terlalu tinggi efisiensi ekstraksi mulai menurun akibat kejenuhan larutan {Formatting Citation}

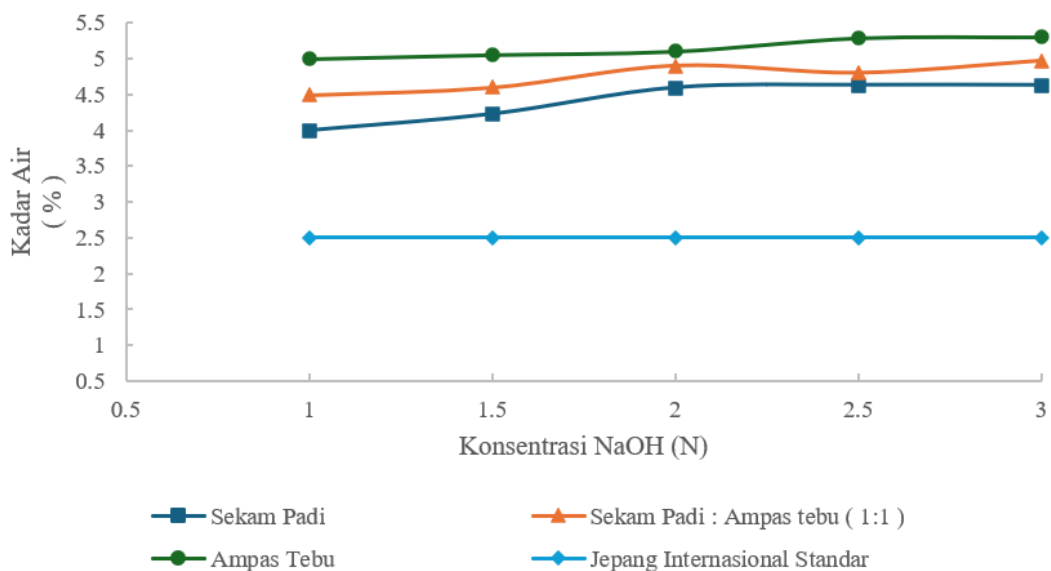
Sekam padi murni menghasilkan rendemen tertinggi di antara ketiga sampel. Pada konsentrasi NaOH 1 N, rendemen yang diperoleh sebesar 31,7%, kemudian terus meningkat pada konsentrasi 1,5 N menjadi 32,85%, konsentrasi 2 N menjadi 39,9%, dan mencapai nilai tertinggi pada konsentrasi 2,5N sebesar 41,05%. Pada konsentrasi 3N, rendemen sedikit menurun menjadi 40,7%. Tingginya rendemen sekam padi dibandingkan bahan lainnya disebabkan oleh kandungan silika *amorf* yang sangat tinggi, yakni mencapai 87–97% dalam abu sekam padi, sehingga lebih banyak silika yang dapat diekstraksi dan diendapkan menjadi produk silika gel (Padang et al., 2023)

Campuran sekam padi dan ampas tebu (1:1) menghasilkan rendemen yang lebih rendah dibandingkan sekam padi murni, dengan nilai pada konsentrasi NaOH 1 N sebesar 24,1%, naik menjadi 25,9% pada 1,5 N, mencapai nilai tertinggi 28,1% pada konsentrasi 2 N, kemudian sedikit turun menjadi 27,35% pada 2,5 N, dan turun cukup signifikan menjadi 21,65% pada konsentrasi 3 N. Penurunan pada konsentrasi tinggi ini kemungkinan disebabkan oleh kandungan organik dari ampas tebu yang ikut terlarut pada konsentrasi NaOH tinggi sehingga mengganggu proses pembentukan gel (Padang et al., 2023).

Ampas tebu murni menghasilkan rendemen paling rendah di antara ketiga sampel pada semua variasi konsentrasi NaOH. Nilai rendemen pada konsentrasi 1 N sebesar 16,4%, naik menjadi 18,1% pada 1,5 N, 20,1% pada 2 N, mencapai nilai tertinggi 20,9% pada konsentrasi 2,5 N, dan sedikit menurun menjadi 20,45% pada konsentrasi 3 N. Rendahnya rendemen ampas tebu berkaitan dengan kandungan silika yang lebih rendah dibandingkan sekam padi. Abu ampas tebu hanya mengandung silika sekitar 55,5–70%, jauh lebih sedikit dibandingkan abu sekam padi (Hidayat et al., 2023). Selain itu, proporsi selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang lebih besar dalam ampas tebu menyebabkan sumber silika yang dapat diekstraksi lebih terbatas.

4.2.2 Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Jenis Bahan Baku terhadap Kadar Air Silika Gel

Kadar air adalah parameter yang menggambarkan persentase kandungan air yang dilepaskan oleh silika gel saat dipanaskan pada suhu 105°C selama 1 jam. Semakin rendah kadar air yang terkandung dalam produk, maka semakin baik kualitas silika gel tersebut karena menunjukkan struktur yang lebih padat dan stabil. Gambar grafik pengaruh konsentrasi NaOH dan jenis bahan Baku terhadap kadar air Silika Gel dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Grafik Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Jenis Bahan Baku terhadap Kadar Air Silika Gel

Berdasarkan Gambar 4.2, pola kadar air pada ketiga sampel menunjukkan kecenderungan yang berbeda. Sekam padi murni menghasilkan kadar air paling rendah di antara ketiga sampel pada seluruh variasi konsentrasi NaOH. Pada konsentrasi 1 N, kadar air sekam padi sebesar 3,996%, kemudian meningkat secara bertahap pada konsentrasi 1,5 N menjadi 4,224%, konsentrasi 2 N menjadi 4,592%, konsentrasi 2,5 N menjadi 4,629%, dan konsentrasi 3 N menjadi 4,628%. Nilai kadar air yang cenderung meningkat seiring naiknya konsentrasi NaOH menunjukkan bahwa konsentrasi alkali yang lebih tinggi menghasilkan struktur gel yang lebih berpori sehingga lebih banyak air yang terperangkap di dalamnya. Meski demikian, kadar air sekam padi pada seluruh konsentrasi masih berada pada rentang

nilai yang rendah, yang mengindikasikan bahwa silika *amorf* dari sekam padi membentuk jaringan tiga dimensi yang lebih teratur sehingga air lebih mudah dilepaskan saat pemanasan (Mujiyanti et al., 2021).

Campuran sekam padi dan ampas tebu (1:1) menghasilkan kadar air pada kisaran 4,493% hingga 4,966%. Nilai terendah diperoleh pada konsentrasi NaOH 1 N sebesar 4,493%, kemudian berfluktuasi pada konsentrasi 1,5 N sebesar 4,596%, konsentrasi 2 N sebesar 4,898%, konsentrasi 2,5 N sebesar 4,801%, dan konsentrasi 3 N sebesar 4,966%. Pola kadar air campuran ini berada di antara sekam padi dan ampas tebu murni, mengindikasikan adanya pengaruh kombinasi sifat kedua bahan baku tersebut (Mujiyanti et al., 2021).

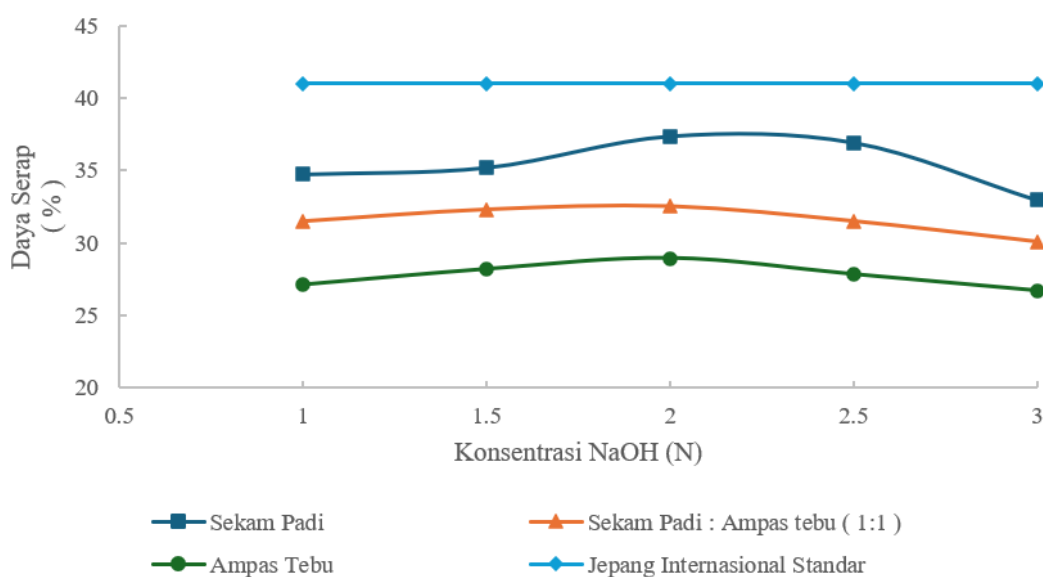
Ampas tebu murni secara konsisten menghasilkan kadar air tertinggi pada seluruh variasi konsentrasi NaOH. Nilai kadar air ampas tebu pada konsentrasi 1 N sebesar 5,001%, naik menjadi 5,058% pada 1,5 N, 5,105% pada 2 N, 5,290% pada 2,5 N, dan mencapai nilai tertinggi 5,304% pada konsentrasi 3 N. Kecenderungan kadar air yang terus meningkat seiring naiknya konsentrasi NaOH pada ampas tebu disebabkan oleh kandungan senyawa organik yang lebih besar. Senyawa organik dalam ampas tebu dapat menghambat proses penguapan air selama pembentukan gel, menghasilkan struktur gel yang lebih lembek dan lebih mudah menyerap kembali uap air dari lingkungan (Hidayat dkk., 2023). Meski demikian, seluruh nilai kadar air yang diperoleh dari ketiga bahan baku masih berada di bawah 10%, sesuai dengan batas maksimum yang direkomendasikan agar adsorben dapat bekerja dengan efisiensi yang baik (Riza dkk., 2022).

Nilai kadar air silika gel yang dihasilkan dari sekam padi, campuran sekam padi-ampas tebu (1:1), dan ampas tebu berada pada kisaran 3,99–5,30%. Nilai tersebut berada di atas batas kadar air silika gel yang tercantum dalam Jepang Industrial Standard (JIS) sebesar 2,5%. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh perbedaan metode pengujian, kondisi sintesis, serta karakteristik bahan baku yang digunakan. Selain itu, pengujian pada penelitian ini dilakukan menggunakan kondisi laboratorium dengan kelembapan lingkungan dan prosedur yang berbeda dari standar JIS. Oleh karena itu, nilai JIS pada grafik digunakan sebagai acuan umum kualitas silika gel dan tidak dimaksudkan untuk dibandingkan secara langsung dengan hasil penelitian. Meskipun demikian, seluruh sampel masih

menunjukkan kadar air yang relatif rendah, yang mengindikasikan bahwa proses sintesis telah berhasil menghasilkan silika gel dengan kemampuan menyerap dan melepaskan air yang cukup baik.

4.2.3 Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Jenis Bahan Baku terhadap Daya Serap Silika Gel

Daya serap merupakan salah satu parameter penting dalam mengevaluasi kemampuan silika gel sebagai adsorben uap air. Pengujian dilakukan dengan mengukur peningkatan massa sampel setelah ditempatkan dalam desikator selama 24 jam, kemudian dihitung berdasarkan perbandingan massa air yang teradsorpsi terhadap massa awal sampel. Semakin tinggi nilai daya serap yang diperoleh, maka semakin baik kemampuan silika gel dalam menyerap uap air dari lingkungan. Kemampuan adsorpsi tersebut dipengaruhi oleh luas permukaan, ukuran pori, serta jumlah gugus silanol (Si-OH) yang terdapat pada permukaan silika gel (Handayani et al., 2022). Gambar grafik pengaruh konsentrasi NaOH dan jenis bahan Baku terhadap daya serap Silika Gel dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Grafik Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Jenis Bahan Baku terhadap Daya Serap Silika Gel

Silika gel yang berasal dari sekam padi menunjukkan daya serap tertinggi dibandingkan kedua bahan baku lainnya. Pada konsentrasi NaOH 1 N diperoleh daya serap sebesar 34,71%, kemudian meningkat menjadi 35,17% pada 1,5 N dan 37,31% pada 2 N. Nilai daya serap terus meningkat hingga mencapai nilai tertinggi

sebesar 36,87% pada konsentrasi 2,5 N. Namun, pada konsentrasi NaOH 3 N daya serap mengalami penurunan cukup signifikan menjadi 32,96%. Peningkatan daya serap hingga konsentrasi 2 N menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi NaOH mampu melarutkan silika dari abu sekam padi secara lebih efektif sehingga menghasilkan struktur silika gel yang lebih berpori. Penurunan pada konsentrasi 3 M diduga disebabkan oleh pelarutan silika yang terlalu berlebihan sehingga sebagian struktur pori mengalami kerusakan dan mengurangi luas permukaan efektif adsorben (Riza dkk., 2022).

Pada silika gel campuran sekam padi dan ampas tebu (1:1), daya serap yang diperoleh berada pada kisaran 30,07–32,53%. Daya serap meningkat dari 31,48% pada konsentrasi NaOH 1 N menjadi 32,30% pada 1,5 N dan mencapai nilai maksimum sebesar 32,53% pada konsentrasi 2 N. Setelah itu nilai daya serap menurun menjadi 31,49% pada konsentrasi 2,5 N dan kembali turun menjadi 30,07% pada konsentrasi 3 N. Hasil ini menunjukkan bahwa pencampuran sekam padi dan ampas tebu masih mampu menghasilkan silika gel dengan kemampuan adsorpsi yang cukup baik, meskipun lebih rendah dibandingkan sekam padi murni. Penurunan kemampuan adsorpsi tersebut dipengaruhi oleh berkurangnya proporsi silika dari sekam padi sehingga jumlah pori dan gugus aktif yang terbentuk menjadi lebih sedikit (Riza dkk., 2022).

Ampas tebu menghasilkan daya serap paling rendah dibandingkan kedua sampel lainnya. Pada konsentrasi NaOH 1 N diperoleh daya serap sebesar 27,10%, kemudian meningkat menjadi 28,17% pada 1,5 N dan mencapai nilai tertinggi sebesar 28,93% pada konsentrasi 2 N. Selanjutnya daya serap menurun menjadi 27,81% pada konsentrasi 2,5 N dan kembali menurun menjadi 26,69% pada konsentrasi 3 M. Rendahnya daya serap ampas tebu berkaitan dengan kandungan silika yang lebih rendah dibandingkan sekam padi. Selain itu, keberadaan komponen organik seperti lignin dan selulosa yang masih tersisa dapat menghambat pembentukan struktur silika *amorf* yang optimal sehingga jumlah situs adsorpsi yang tersedia menjadi lebih sedikit. Penggunaan NaOH yang terlalu tinggi juga dapat menyebabkan sebagian struktur gel mengalami degradasi sehingga kemampuan adsorpsinya menurun (Mujiyanti et al., 2021).

Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa silika gel berbahan baku

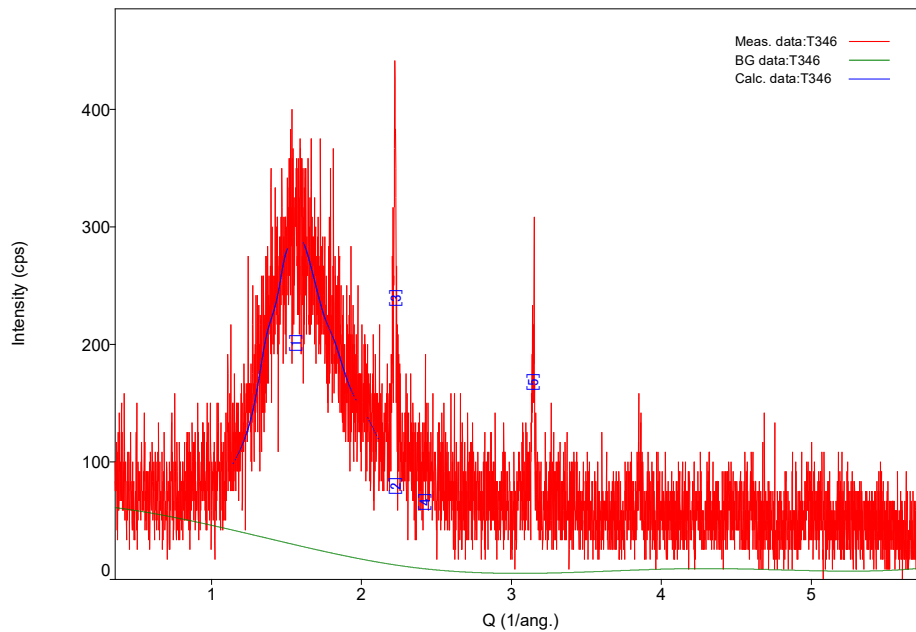
sekam padi memiliki kemampuan adsorpsi yang paling baik dibandingkan campuran sekam padi–ampas tebu maupun ampas tebu murni. Konsentrasi NaOH optimal untuk sekam padi diperoleh pada 2 N dengan daya serap sebesar 37,31%, sedangkan pada campuran sekam padi–ampas tebu dan ampas tebu murni diperoleh pada 2 N dengan masing-masing daya serap sebesar 32,53% dan 28,93%. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi NaOH hingga titik optimal mampu meningkatkan pembentukan natrium silikat dan struktur pori silika gel, namun penggunaan NaOH yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penurunan kualitas struktur adsorben yang terbentuk. Temuan ini juga sejalan dengan hasil rendemen dan karakterisasi lainnya yang menunjukkan bahwa sekam padi merupakan sumber silika yang lebih potensial dibandingkan ampas tebu.

Nilai daya serap silika gel yang dihasilkan dari abu sekam padi, campuran abu sekam padi–abu ampas tebu (1:1), dan abu ampas tebu berada pada kisaran 26,69–37,31%. Nilai tersebut masih berada di bawah persyaratan Japan Industrial Standard (JIS), yang menetapkan daya serap minimum sebesar 41%. Rendahnya daya serap air dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain konsentrasi NaOH yang digunakan selama proses ekstraksi, struktur pori dan luas permukaan silika gel yang terbentuk, serta tingkat kemurnian silika hasil sintesis. Selain itu, kondisi sintesis, proses pengeringan, dan metode pengujian yang digunakan pada penelitian ini dapat berbeda dengan prosedur yang diterapkan dalam standar JIS sehingga hasil yang diperoleh tidak dapat dibandingkan secara langsung. Oleh karena itu, nilai JIS pada grafik digunakan sebagai acuan umum dalam mengevaluasi kualitas silika gel. Meskipun belum memenuhi persyaratan JIS, seluruh sampel masih menunjukkan kemampuan menyerap air yang cukup baik, yang menunjukkan bahwa silika gel hasil sintesis tetap memiliki sifat adsorptif dan berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai material adsorben.

4.2.4. Analisa karakteristik sekam padi konsentrasi 2N menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan metode karakterisasi yang digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristal, fase material, dan tingkat kristalinitas suatu material berdasarkan pola difraksi sinar-X yang dihasilkan ketika berinteraksi dengan bidang kristal. Pola difraksi yang dihasilkan bersifat khas sehingga dapat

digunakan untuk membedakan fase kristalin dan *amorf* serta mengidentifikasi senyawa penyusun suatu material. Oleh karena itu, analisis *XRD* banyak digunakan dalam karakterisasi silika hasil sintesis untuk mengetahui tingkat kristalinitas dan fase yang terbentuk (Islam et al., 2024). Gambar Hasil grafik analisa karakteristik sekam padi konsentrasi 2 N menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)* dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Hasil grafik analisa karakteristik sekam padi konsentrasi 2N menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*

Berdasarkan hasil pengujian fasa yang terekam pada grafik *XRD* diatas karakteristik struktural dari silika sekam padi ditunjukkan oleh munculnya puncak tunggal yang landai, melebar, dan tidak beraturan (*broad peak*) pada daerah sudut 2 theta di kisaran 22° . Hasil Analisa *XRD* pada karakteristik sekam padi 2N dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Analisa *XRD* pada karakteristik sekam padi 2N

No.	2-theta	FWHM
1	22.1	7.5
2	31.7	5
3	31.698	0.27
4	34.5	3
5	45.33	0.25

Pada analisis *XRD*, parameter 2θ (*two theta*) menunjukkan sudut difraksi yang digunakan untuk mengidentifikasi fase atau struktur kristal suatu material. Sementara itu, *Full Width at Half Maximum (FWHM)* merupakan lebar puncak difraksi pada setengah tinggi maksimum yang digunakan untuk menggambarkan tingkat kristalinitas suatu material. Nilai FWHM yang semakin besar menunjukkan puncak difraksi yang semakin lebar (*broad peak*), yang umumnya mengindikasikan bahwa material memiliki struktur *amorf* atau tingkat kristalinitas yang rendah, sedangkan nilai *FWHM* yang kecil menunjukkan struktur yang lebih kristalin (Ekwe & Ike, 2024).

Profil kurva yang landai tanpa adanya kemunculan puncak-puncak tajam (*sharp peaks*) berintensitas tinggi ini memberikan pembuktian secara mutlak bahwa silika yang diperoleh dari sekam padi, baik sampel kontrol maupun sampel dengan perlakuan, sepenuhnya berada dalam fasa *amorf* (*amorphous silica*). Menurut (Sapei L et al., 2015), bertahannya fasa *amorf* pada produk akhir ini sangat dipengaruhi oleh kontrol temperatur kalsinasi yang dijaga secara konstan pada suhu 750° , serta efektivitas tahapan pelindian (*leaching*) menggunakan asam asetat untuk mereduksi keberadaan unsur pengotor logam alkali. Fenomena pembentukan puncak pelebaran ini diperkuat oleh tinjauan literatur dari (Nzereogu et al., 2023) yang menegaskan bahwa grafik *XRD* yang landai pada area $2\theta = 22^{\circ}$ merupakan identitas khas dari material silika berbasis biologis yang strukturnya tidak teratur (*amorf*) akibat penghilangan fraksi lignoselulosa secara termal tanpa merusak jaringan dasar silikanya.

Apabila pengotor logam alkali, khususnya unsur Kalium (K), pada sekam padi tidak dihilangkan terlebih dahulu melalui proses *leaching* HCl, pengotor tersebut akan bertindak sebagai fluks yang dapat menurunkan titik leleh silika dan

menginduksi penggabungan struktur selama pembakaran berlangsung. Akibatnya, pada temperatur kalsinasi yang tinggi, jaringan silika *amorf* akan mengalami kristalisasi prematur menjadi bentuk polimorf kristalin seperti kuarsa (*quartz*), kristobalit (*cristobalite*), maupun tridimit (*tridymite*). Transisi fasa menjadi kristalin tersebut secara visual pada grafik *XRD* pasti akan ditandai dengan perubahan bentuk kurva, yaitu hilangnya puncak landai dan digantikan oleh kemunculan puncak-puncak tajam berintensitas tinggi pada sudut-sudut difraksi tertentu. Sapei L et al., (2015) menyatakan bahwa minimalisasi logam alkali melalui pelindian asam asetat sangat penting untuk mempertahankan fasa *amorf* ini agar struktur dasar jaringan silika tidak mengalami pelelehan atau kerusakan struktur lokal. Hal ini sejalan dengan mekanisme dari Nzereogu et al., (2023) yang menjelaskan bahwa silika dalam bentuk fasa *amorf* murni jauh lebih diinginkan untuk aplikasi lanjutan karena memiliki energi permukaan yang bebas serta situs aktif yang jauh lebih melimpah dibandingkan dengan fasa kristalinnya yang cenderung bersifat inert atau tidak reaktif.

Bila dilakukan analisis komparatif antar-kurva yang tampak pada grafik *XRD*, terlihat bahwa intensitas dan kelandaian puncak pada sudut $2\theta = 22^\circ$ tetap stabil dan konsisten di antara seluruh variasi sampel. Hal ini menandakan bahwa variasi temperatur pelindian menggunakan asam asetat tidak sampai merusak atau mengubah tatanan fasa *amorf* menjadi kristalin, melainkan hanya bekerja secara efektif di tingkat kemurnian kimiawi material. Keberhasilan dalam mempertahankan bentuk grafik *amorf* yang murni ini, sebagaimana dirujuk dari mekanisme pelindian asam oleh (Sapei L et al., 2015) dan Nzereogu et al., (2023) membuktikan bahwa kondisi operasi pembakaran pada suhu 750° berada pada batas aman yang ideal. Struktur silika *amorf* yang ditunjukkan oleh grafik *XRD* ini mengonfirmasi bahwa material hasil percobaan memiliki struktur acak berpori dengan tingkat reaktivitas permukaan yang sangat tinggi, sehingga sangat aplikatif untuk digunakan sebagai bahan baku fungsional dalam industri, seperti bahan adsorben penjerat polutan, komponen aktif material elektronik (semikonduktor), maupun sebagai agen penguat (*reinforcing agent*) pada campuran karet ban modern