

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sintesis silika dari Abu Limbah Sabut Kelapa

Proses sintesis silika dilakukan melalui dua tahapan utama, yakni tahap isolasi silika dari abu sabut kelapa dan tahap sintesis silika lanjutan. Isolasi dilakukan dengan cara mengabukan sabut kelapa pada suhu 600 °C selama dua jam, diikuti oleh proses pencucian menggunakan larutan HCl. Pengabuan ini bertujuan untuk mempercepat pemisahan silika dari matriks organik sabut kelapa, di mana parameter suhu dan durasi pemanasan diketahui berpengaruh terhadap tingkat kristalinitas silika yang dihasilkan (Yuliatun et al., 2022). Tahap pencucian dengan HCl dilakukan untuk menghilangkan kontaminan anorganik seperti MgO, K₂O, dan CaO. Penggunaan HCl dipilih karena silika tidak bereaksi dengan sebagian besar asam, kecuali HF, sehingga HCl dianggap efektif dalam meningkatkan kemurnian silika tanpa merusak struktur silikanya (Bariyah & Simatupang, 2021).

Silika murni dilarutkan dalam larutan basa guna meningkatkan hasil (rendemen) yang diperoleh, kemudian dilakukan proses pengendapan. Larutan hasil pelarutan ditambahkan HCl secara bertahap hingga pH turun di bawah 10 untuk memfasilitasi pembentukan gel silika. Pemilihan pH ini didasarkan pada sifat silika yang tidak mudah larut dalam kondisi netral, sehingga proses pengendapan berlangsung lebih efisien (Nandaliarasyad et al., 2017). Kandungan silika meningkat ketika pH mendekati netral, namun akan menurun kembali jika lingkungan terlalu asam. Penurunan ini dikaitkan dengan pembentukan garam natrium selama proses gelasi akibat penambahan asam, yang berpotensi menurunkan kemurnian silika yang dihasilkan (Kurniati, 2020).

Pada kondisi pH mendekati netral, terjadi deprotonasi yang seimbang antara gugus siloksi (Si-O⁻) dan silanol (Si-OH), sesuai dengan mekanisme yang dijelaskan oleh Setiadji et al. (2019). Gel kemudian didiamkan selama 18 jam untuk memungkinkan proses sineresis, di mana

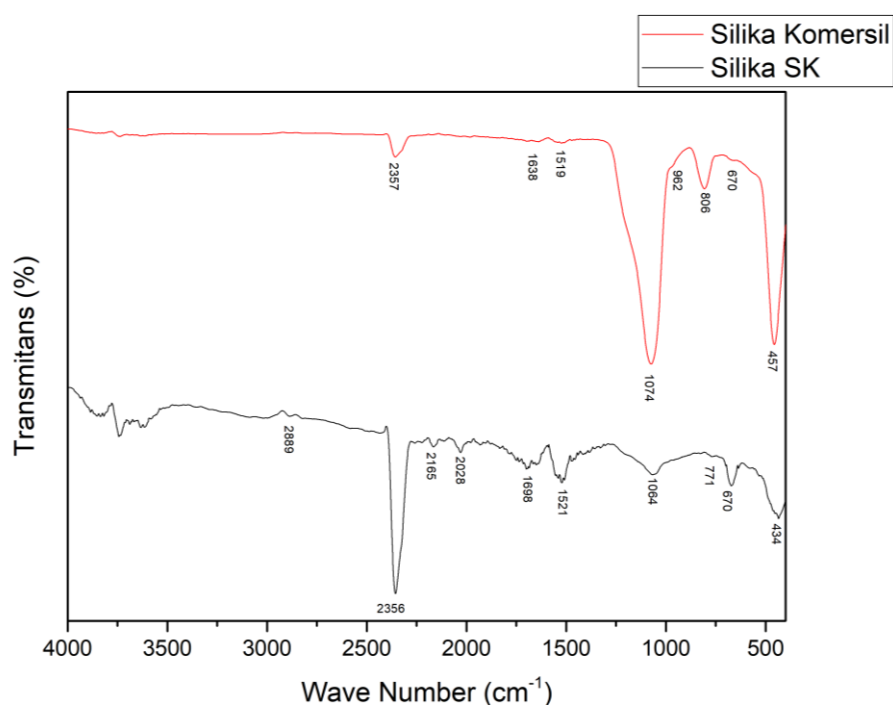
struktur gel mengalami pemadatan dan penyusutan akibat keluarnya cairan dari pori-pori internal. Setelah itu, gel disaring dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 12 jam guna menghilangkan kandungan air. Tahapan ini menghasilkan substrat berupa padatan putih, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.1. Hal ini sejalan dengan temuan Novendra et al. (2022), di mana gel silika yang dihasilkan menunjukkan warna putih dan setelah proses pengeringan membentuk serbuk silika padat berwarna serupa. Ciri fisik tersebut sesuai dengan karakteristik silika hasil sintesis dari abu sabut kelapa. Selanjutnya, silika digerus dan diayak menggunakan saringan berukuran 100 mesh untuk memperoleh distribusi ukuran partikel yang seragam. Produk akhir kemudian dikarakterisasi menggunakan teknik ATR dan XRD untuk analisis struktur dan gugus fungsionalnya.



Gambar 4.1 SiO₂ Terisolasi dari Abu Sabut Kelapa

4.1.1 Hasil ATR Silika dari Abu Sabut Kelapa

Karakterisasi ATR silika yang diisolasi dari abu sabut kelapa dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi utamanya. Hasil ATR silika yang diisolasi dari abu sabut kelapa disajikan pada gambar 4.2 berikut



Gambar 4.2 Perbandingan spektrum ATR silika sintesis dan silika komersil

Hasil ATR yang telah dilakukan oleh Izzati., 2013; Trivana *et al.*, 2015; Zurriatina *et al.*, 2019; Suka *et al.*, 2020; Dalsup., 2022; Tkachenko & Niedzielski, 2022; Tsani *et al.*, 2024 digunakan penulis sebagai acuan untuk menganalisis gugus fungsi. Penulis menggunakan hasil ATR silika murni sebagai acuan untuk keberhasilan sintesis silika dari abu sabut kelapa. Berdasarkan analisis gugus fungsi yang dilakukan, terbukti bahwa silika telah berhasil disintesis dari abu sabut kelapa dengan metode presipitasi. Kesamaan pola spektrum antara silika komersial dan silika hasil sintesis dikonfirmasi melalui kemunculan puncak-puncak karakteristik yang serupa. Seperti terlihat pada Gambar 4.2, adanya serapan pada bilangan gelombang 2889 cm^{-1} yang mengindikasikan vibrasi gugus -OH dari silanol (Si-OH) yang menunjukkan pada silika yang dihasilkan masih terdapat H_2O yang terjerap. Rentang puncak $2356\text{--}2028\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi tekuk dari Si-O, puncak 1698 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ikatan H-O-H yang membuktikan masih terdapatnya H_2O ; puncak 1521 cm^{-1} menunjukkan vibrasi tekuk O-H hidroksil atau alkohol yang mengindikasikan terjadinya ikatan logam hidroksida Si-OH; puncak $1064\text{--}771\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan

vibrasi ulur simetris dan asimetris Si-O-Si yang mengindikasikan regangan utama dari senyawa silika; puncak 670 cm^{-1} menunjukkan ikatan Si-O-Si; dan puncak 434 cm^{-1} yang menunjukkan adanya vibrasi peregangan lentur pada ikatan Si-O-Si dan deformasi Si-O.

Tabel 4.1 Bilangan Gelombang Area Puncak pada Spektrum ATR dari SiO_2

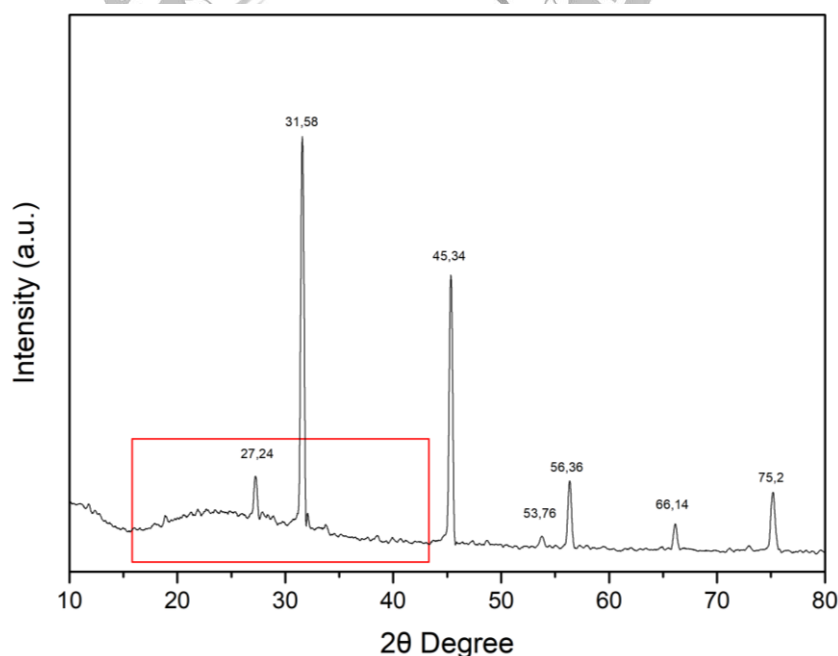
No	Bilangan Gelombang Silika (cm^{-1})		Grup Fungsi	Sumber
	Sabut Kelapa	Komersil		
1	434	457	Vibrasi peregangan simetris Si-O-Si dan deformasi Si-O	Trivana <i>et al.</i> , 2015; Suka <i>et al.</i> , 2020
2	670	670	Ikatan Si-O-Si	Dalsup., 2022; Zurriatina <i>et al.</i> , 2019
3	771	806	Vibrasi ulur simetris Si-O-Si	Izzati., 2013; Elma <i>et al.</i> , 2018
4	1064	1074	Vibrasi ulur asimetris Si-O-Si	Tsani <i>et al.</i> , 2024; Suka <i>et al.</i> , 2020
5	1521	1519	Vibrasi tekuk -OH dari Si-OH	Tsani <i>et al.</i> , 2024
6	1698	1638	Vibrasi ikatan H-O-H	Trivana <i>et al.</i> , 2015; Tkachenko & Niedzielski, 2022
7	2028	-	Vibrasi Tekuk Si-O (Siloksan)	Trivana <i>et al.</i> , 2015
9	2356	2357	Vibrasi tekukan Si-O (Siloksan)	Trivana <i>et al.</i> , 2015
10	2889	-	Gugus -OH silanol	Trivana <i>et al.</i> , 2015

Berdasarkan hasil analisis gugus fungsi yang telah dilakukan, seperti yang ditunjukkan pada perbandingan tabel 4.1, dapat dilihat bahwa silika berhasil diisolasi dari abu sabut kelapa. Pergeseran puncak serapan yang ditunjukkan pada tabel 4.1 disebabkan karena adanya perbedaan Panjang dan sudut ikatan. Pergeseran puncak pada ikatan Si-O-Si yang

menunjukkan ikatan spesifik pada silika terjadi karena tingkat polimerisasi silika lebih rendah pada silika sintesis, hal ini mengakibatkan pembentukan silika yang tidak sepenuhnya terseruktur secara teratur. Namun, hasil data ATR tidak dapat menentukan fasa dari silika yang telah disintesis, derajat kristalinitas, maupun strukturnya. Maka demikian, perlu dilakukan karakterisasi lebih lanjut terhadap silika menggunakan instrumen XRD.

4.1.2 Hasil XRD Silika dari Abu Sabut Kelapa

Karakterisasi terhadap senyawa SiO_2 hasil isolasi dilakukan menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) guna mengidentifikasi dan menentukan jenis fasa yang terbentuk. Pengukuran dilakukan pada rentang sudut 2θ antara 15° hingga 80° . Identifikasi fasa didasarkan pada analisis pola difraksi yang dihasilkan, untuk mengevaluasi apakah material tersebut memiliki struktur kristalin atau amorf. Hasil interpretasi ditampilkan pada Tabel 4.2 dan mengindikasikan keberhasilan pembentukan senyawa silika.



Gambar 4.3 Difraktogram SiO_2

Tabel 4.2 Perbandingan serapan spektrum XRD SiO₂ standar dengan SiO₂ sintesis

Jenis Material	Sudut 2 θ			
SiO ₂ Standar ICDD 01-075- 8320	26.600	36.473	42.367	50.067
SiO ₂ Sintesis	27.24	31.58	45.34	53.76

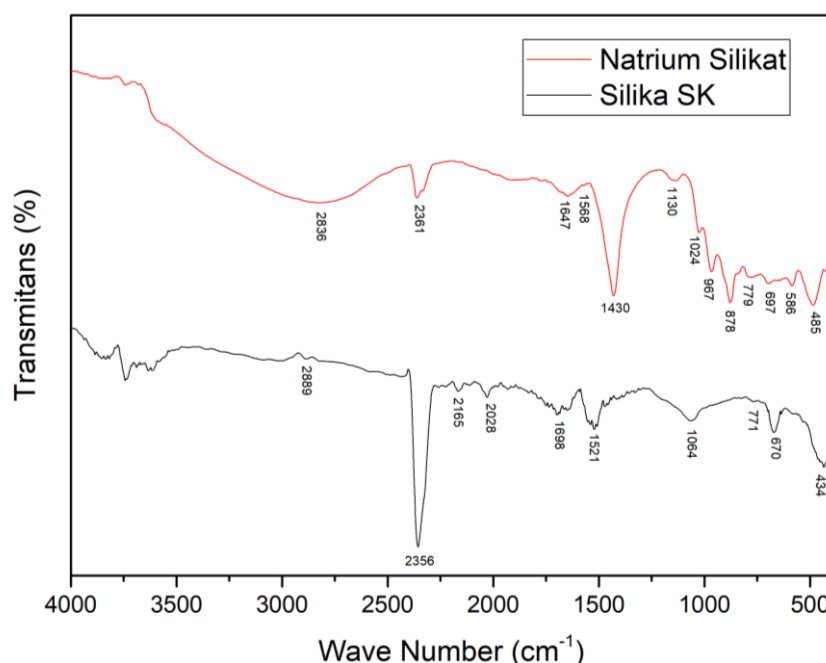
Hasil difraktogram silika hasil sintesis dari abu sabut kelapa ditampilkan pada gambar 4.3. hasil tersebut menunjukkan adanya puncak pada 2 θ mulai dari 16° hingga 40°, yang mengindikasikan adanya pembentukan partikel silika dalam keadaan amorf, hal ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan Martiana *et al.*, 2022 yang berarti struktur amorf silika yang tidak beraturan. Data tersebut dijadikan acuan dalam menganalisis jenis atau struktur senyawa hasil sintesis silika dari abu sabut kelapa.

Pada puncak tajam 66.14°, dan 75.2° biasanya cocok dengan struktur kristal silika kuarsa atau mengindikasikan pembentukan silika dengan struktur kristalin, pada data JCPDS No. 72-0079 peak tersebut menunjukkan terbentuknya senyawa natrium silikat yang terdeteksi. Pada penelitian Dalsup., 2022 puncak difraksi untuk struktur silika berada pada 20 ° hingga 30 °, latar yang melebar pada 2 θ < 25° menunjukkan adanya silika yang menandakan struktur amorf dari hasil sintesis. Puncak difraksi yang tajam dan intens dari 31,56° hingga 66,12° dikonfirmasi sebagai Na₂SiO₃ (Zurriatina *et al.*, 2019).

4.2 Sintesis Natrium Silikat

Natrium silikat diperoleh melalui pelarutan silika hasil isolasi ke dalam larutan NaOH yang dipanaskan hingga mencapai suhu mendidih sekitar 80°C, menghasilkan larutan kental berwarna kecoklatan. Proses ini kemudian dilanjutkan dengan tahap peleburan pada suhu 500°C, melebihi titik leleh NaOH (318°C), sehingga memungkinkan disosiasi penuh NaOH menjadi ion Na⁺ dan OH⁻ sebagaimana dijelaskan oleh Phoo-ngernkham *et al.* (2015). Pemilihan NaOH sebagai agen pelarut didasarkan pada titik

lelehnya yang lebih rendah dibandingkan Na_2CO_3 (851°C), yang menjadikannya lebih efisien dalam pembentukan natrium silikat pada suhu relatif rendah (Luciana, 2020). Kombinasi metode pelarutan dan peleburan ini dirancang untuk mengoptimalkan konversi abu sabut kelapa menjadi natrium silikat secara menyeluruh. Produk natrium silikat yang terbentuk umumnya berwarna putih, menandakan kemurnian yang tinggi (Trivana et al., 2015), sementara warna kehijauan atau kebiruan mengindikasikan adanya kontaminan (Dananjaya et al., 2014). Senyawa padat yang dihasilkan kemudian dianalisis menggunakan ATR dan XRD, di mana ATR digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan gugus fungsi utama dalam struktur natrium silikat.



Gambar 4.4 Perbandingan spektrum ATR natrium silikat dan silika

Hasil ATR oleh Ronaldo *et al.*, 2013; Trivana *et al.*, 2015; Zurriatina *et al.*, 2019; Suka *et al.*, 2020; Tkachenko & Niedzielski, 2022; Tsani *et al.*, 2024 digunakan sebagai acuan untuk menganalisis gugus fungsi. Berdasarkan analisis gugus fungsi yang dilakukan, terbukti bahwa natrium silikat telah berhasil disintesis dari silika hasil abu sabut kelapa. Hal tersebut dibuktikan dengan adanya puncak spesifik pada spektrum ATR yang

ditunjukkan pada gambar 4.4. Berdasarkan pada tabel 4.2 puncak 2836 cm^{-1} menunjukkan ikatan -OH dari silanol (Si-OH) yang menunjukkan terdapat H_2O yang terjerap pada natrium silikat yang dihasilkan ; rentang puncak $2361\text{ - }2028\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi Si-O (siloksan); puncak 1647 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ikatan H-O-H sebagai senyawa H_2O yang terjerap; puncak $1568\text{ - }1430\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi tekuk silanol (Si-OH) yang menunjukkan ikatan logam oksida; puncak $1130\text{ - }1024\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi Si-O-Si sebagai getaran regangan utama dari senyawa silika; puncak 967 cm^{-1} menunjukkan gugus Si-O-Na sebagai interaksi ionik akibat pembentukan silikat terionisasi dan puncak utama dalam senyawa natrium silikat; puncak $779\text{ dan }434\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi tekuk Si-O-Si antara getaran simetris dan asimetris; dan puncak $697\text{ - }686\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya pita peregangan dari Si-O pada ikatan Si-O-Si.

Tabel 4.3 bilangan gelombang Area Puncak pada Spektrum ATR dari Na_2SiO_3

No	Bilangan Gelombang (cm^{-1})		Grup Fungsi	Sumber
	Nat.sil	Silika		
		Sintesis		
1	485	434	Vibrasi tekuk Si-O-Si	Ronaldo <i>et al.</i> , 2013
2	586	-	Pita peregangan Si-O	Tsani <i>et al.</i> , 2024
3	697	670	Gugus Si-O dari ikatan Si-O-Si	Tsani <i>et al.</i> , 2024
4	779	771	Vibrasi Si-O-Si	Tsani <i>et al.</i> , 2024; Suka <i>et al.</i> , 2020
5	878	-	Vibrasi Tekuk silanol (Si-OH)	Tsani <i>et al.</i> , 2024
6	967	-	Pita peregangan Si-O-Na	Fauzan <i>et al.</i> , 2013
7	1024	1064	Vibrasi tekukan Si-O (Siloksan)	Trivana <i>et al.</i> , 2015

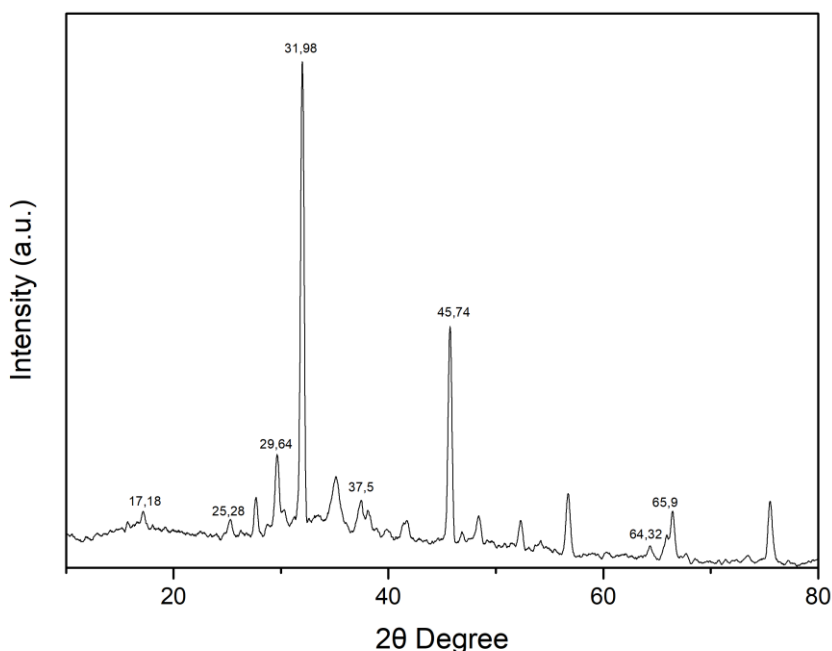
8	1130	-	Vibrasi tekuk Si-O (Siloksan)	Zurriatina <i>et al.</i> , 2019
9	1430	-	Vibrasi tekuk Si-OH (silanol)	Trivana <i>et al.</i> , 2015
10	1568	1521	Vibrasi tekuk -OH dari Si-OH	Tsani <i>et al.</i> , 2024
11	1647	1698	Vibrasi ikatan H-O-H	Trivana <i>et al.</i> , 2015; Tkachenko & Niedzielski, 2022
12	-	2028	Vibrasi Tekuk Si-O (Siloksan)	Trivana <i>et al.</i> , 2015
13	2361	2356	Vibrasi Tekuk Si-O (Siloksan)	Trivana <i>et al.</i> , 2015
14	2836	2889	Gugus -OH silanol (Si-OH) dan serapan H ₂ O	Trivana <i>et al.</i> , 2015

Berdasarkan hasil analisis gugus fungsi yang telah dilakukan, seperti yang ditunjukkan pada gambar dan tabel, dapat dilihat bahwa Na₂SiO₃ berhasil disintesis. Pada spektrum natrium silikat terjadi pergeseran ke 1024 cm⁻¹ dan muncul puncak baru di 1130 cm⁻¹ yang menunjukkan mulai adanya interaksi antara ion Na⁺ dengan gugus Si-O⁻ yang membentuk struktur silikat [SiO₄]⁴⁻. Hal ini dikuatkan dengan muncul puncak baru pada 967 cm⁻¹ yang menandakan ion Na⁺ yang terikat secara ionik sebagai hasil dari reaksi NaOH terhadap gugus fungsional silika, gugus ini menunjukkan adanya gugus ikatan Si-O-Na yang hanya muncul pada natrium silikat. Namun, hasil data analisis ATR tidak dapat menentukan fasa natrium silikat dan derajat kristalinitas. Maka demikian, perlu dilakukan analisis lebih lanjut terhadap Na₂SiO₃ menggunakan instrumen XRD.

4.2.1 Hasil XRD Natrium Silikat dari Abu Sabut Kelapa

Puncak difraksi yang tajam dan intens dari 31,56° hingga 66,12° dikonfirmasi sebagai Na₂SiO₃ (Zurriatina *et al.*, 2019). Kalsinasi pada suhu 500°C seharusnya membentuk struktur kristal yang jelas. Namun, penulis mendapatkan XRD Natrium Silikat dengan menunjukkan struktur amorf.

Hasil analisis ditampilkan pada tabel 4.4 yang membuktikan terbentuknya natrium silikat.



Gambar 4.5 Difraktogram XRD Natrium Silikat dari Abu Sabut Kelapa

Tabel 4.4 Perbandingan serapan spektrum XRD Na_2SiO_3 standar dengan Na_2SiO_3 sintesis

Jenis Material	Sudut 2θ						
Na_2SiO_3 Standar ICDD 00-016-0818	16.84	24.99	29.35	34.88	37.24	64.17	65.75
Na_2SiO_3 Sintesis	17.18	25.28	29.64	31.98	37.5	64.32	65.9

Struktur kristal yang kurang jelas dapat disebabkan oleh lamanya proses kalsinasi yang dilakukan. Puncak-puncak yang didapat dibandingkan dengan standar natrium silikat dengan data ICDD 00-016-0818, data tersebut menunjukkan adanya pola dari natrium silikat yang terbentuk. Pola puncak yang lebih tajam dan lebih banyak dibandingkan pola difraktogram pada silika menandakan rekristalisasi pada natrium silikat dimana fasa amorf berkurang dan fasa kristalin bertambah.

Tingkat kristalinitas natrium silikat yang lebih tinggi ditandai dengan munculnya puncak-puncak yang lebih tinggi daripada puncak difraktogram

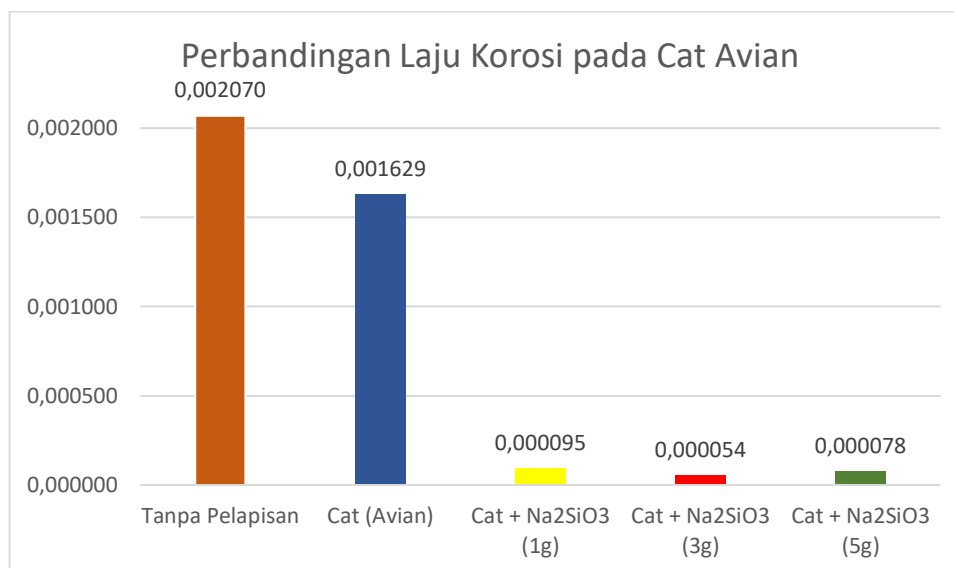
silika. Pada penelitian ini, penulis menggunakan suhu 500°C selama 30 menit, sedangkan pada penelitian Hindryawati *et al.*, 2014 untuk membentuk struktur kristal yang lebih jelas proses kalsinasi dilakukan pada suhu 500°C selama 3 jam.

4.3 Uji Korosi

Perlakuan awal yang harus dilakukan sebelum memulai pengujian korosi adalah persiapan specimen baja 4140 yang telah dihaluskan dengan menggunakan gerinda. Pengujian korosi dilakukan dengan perendaman selama 96 jam dan 120 jam, dan dilakukan pengamatan berat selama 48 jam, 72 jam, 96 jam, dan 120 jam. Data hasil pengujian korosi pada sampel material uji baja 4140 dengan variasi komposisi natrium silikat dan lingkungan yang berbeda dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

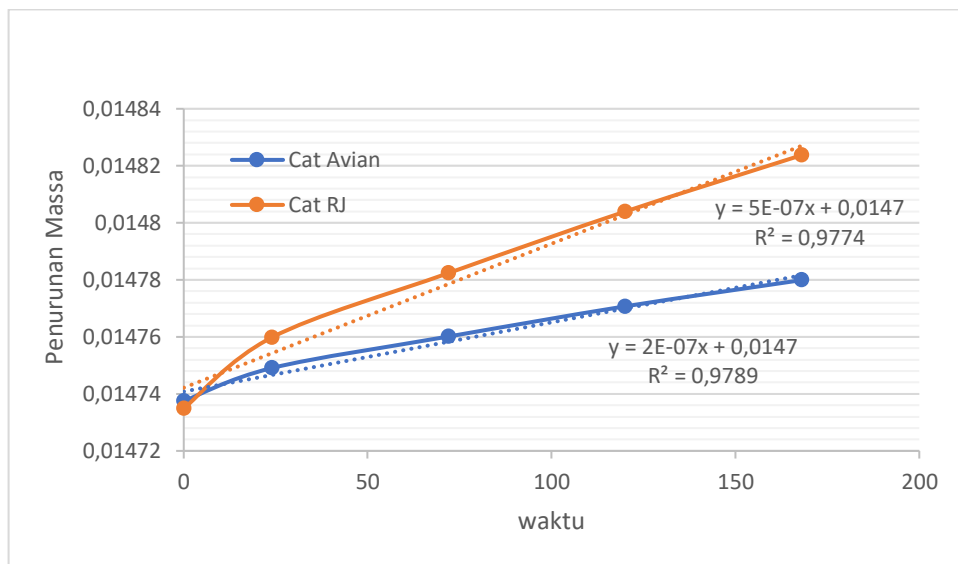
Tabel 4.5 Laju Korosi berdasarkan Jenis Lapisan Spesimen

No	Tipe Spesimen	Massa Awal (gram)	Massa Akhir (gram)	Penurunan Massa (gram)	Laju Korosi (mmpy)
1	Tanpa Pelapisan	61,794	57,556	4,238	0,002070
2	Cat (Avian)	59,6889	56,3541	3,3348	0,001629
3	Cat + Na ₂ SiO ₃ (1g)	67,8543	67,6594	0,1949	0,000095
4	Cat + Na ₂ SiO ₃ (3g)	66,1344	66,0228	0,1116	0,000054
5	Cat + Na ₂ SiO ₃ (5g)	69,7895	69,6294	0,1601	0,000078

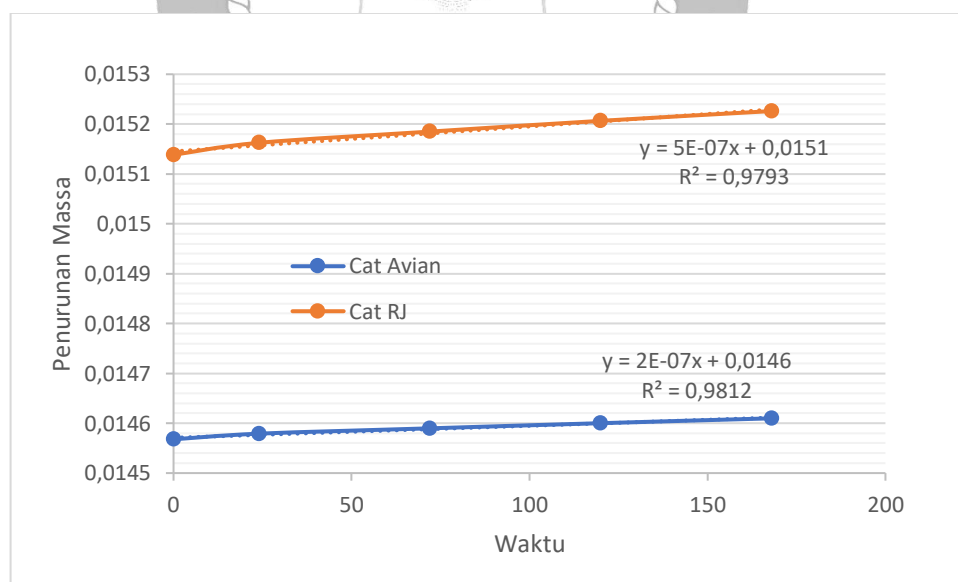


Gambar 4.6 Grafik perbandingan laju korosi pada cat Avian

Berdasarkan tabel 4.5 terlihat bahwa pelapisan yang terbaik dimiliki oleh pelapisan dengan penambahan natrium silikat sebanyak 3 gram. Data yang didapat laju korosi dari penambahan natrium silikat adalah $0,54 \times 10^{-4}$ mmpy pelapisan dengan penambahan ini menghasilkan efisiensi yang lebih besar daripada hanya menggunakan cat. Perbandingan dengan cat menghasilkan spesifikasi lebih rinci terkait metode penambahan natrium silikat pada pelapis. Selain itu, persentase dengan penambahan 3 gram lebih optimal terhadap penguatan dibandingkan dengan penambahan lainnya. Hal ini disebabkan semakin banyaknya natrium silikat yang terdistribusi akan semakin merata dalam perlindungan diseluruh permukaan spesimen, akan tetapi jumlah yang terlalu banyak dapat menyebabkan cat tidak stabil, penggumpalan natrium silikat pada cat dan dapat mengganggu ikatan antara cat dan substrat logam (Li *et al.*, 2021).



Gambar 4.7 Grafik Laju Korosi penambahan 1 gram pada cat di lingkungan asam

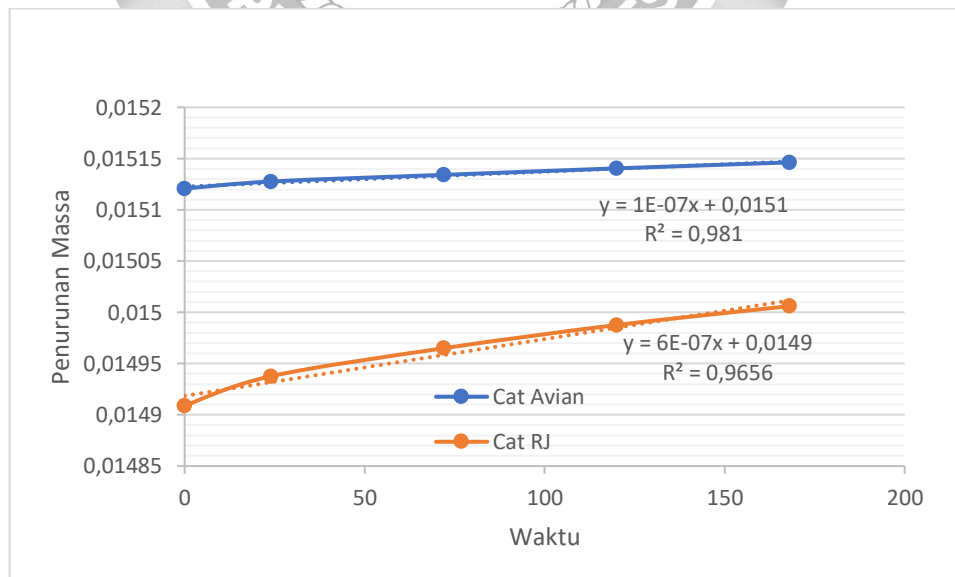


Gambar 4.8 Grafik Laju Korosi penambahan 1 gram pada cat di lingkungan Basa

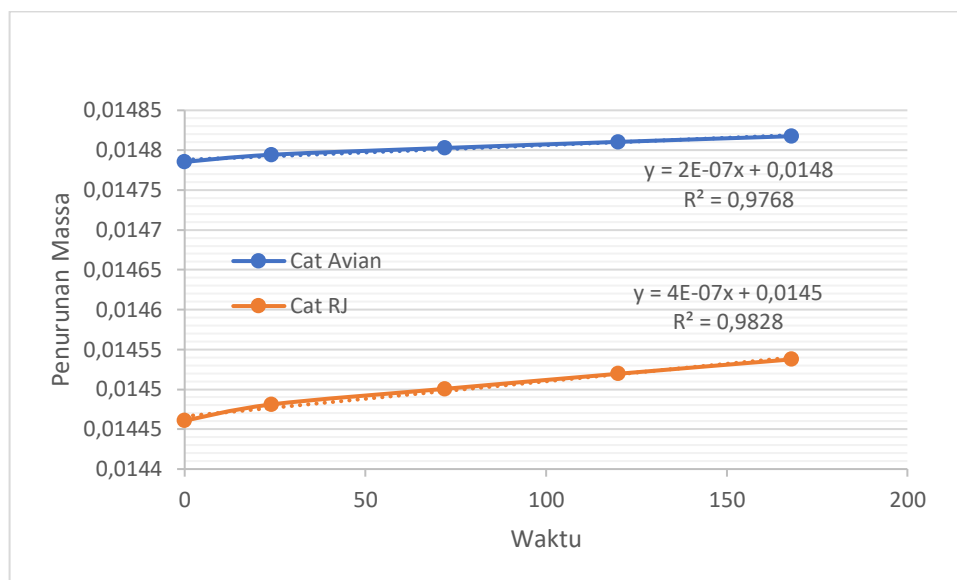
Berdasarkan data pengukuran laju korosi pada penambahan masing-masing cat 1 gram natrium silikat, ditemukan bahwa natrium silikat dengan penambahan pada cat Avian memiliki nilai laju korosi yang relatif kecil dibandingkan dengan penambahan pada cat Rj. Nilai yang didapati dalam keadaan asam $0,95 \times 10^{-5}$ mmpy dan keadaan basa $0,97 \times 10^{-5}$

mmpy menunjukkan bahwa penambahan natrium silikat pada cat Avian dapat menghambat laju korosi secara optimal.

Penambahan 1 gram natrium silikat ke dalam formulasi cat menunjukkan efek perlindungan awal terhadap korosi, meskipun masih bersifat permeabel sehingga memungkinkan difusi ion agresif ke permukaan logam. Akibatnya, laju korosi mengalami penurunan, namun belum mencapai efektivitas maksimum. Efektivitas inhibisi ini berkaitan dengan pembentukan lapisan tipis silika pada permukaan logam, yang bersifat tidak larut dalam air dan mampu mengurangi kontak langsung antara logam dan medium korosif (Mamnuah et al., 2021). Kehadiran gugus oksigen dengan pasangan elektron bebas memungkinkan terjadinya interaksi dengan permukaan logam, membentuk lapisan pasif transparan yang berfungsi sebagai pelindung terhadap serangan lingkungan korosif, sehingga berkontribusi dalam menurunkan laju korosi (Dananjaya et al., 2016).

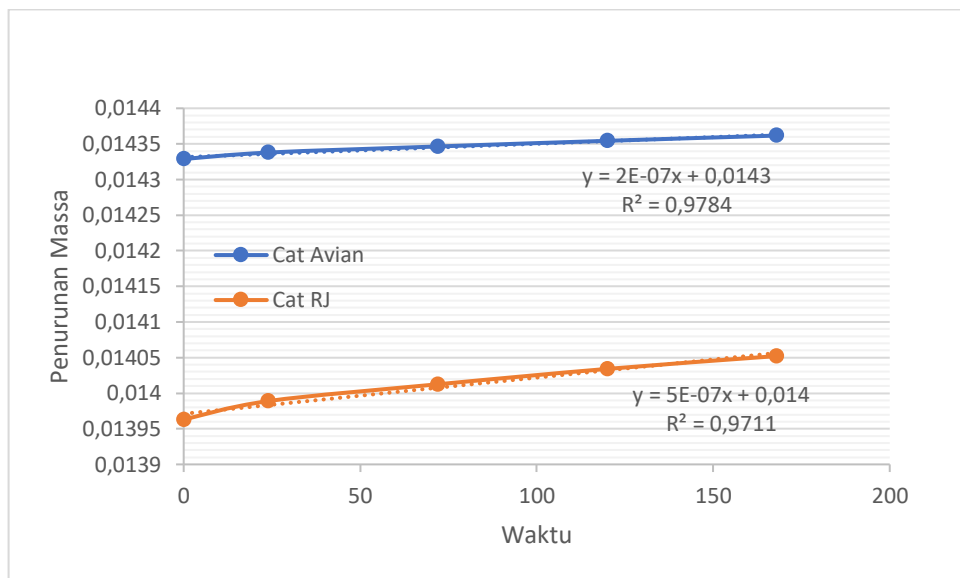


Gambar 4.9 Grafik Laju Korosi penambahan 3 gram pada cat di lingkungan asam

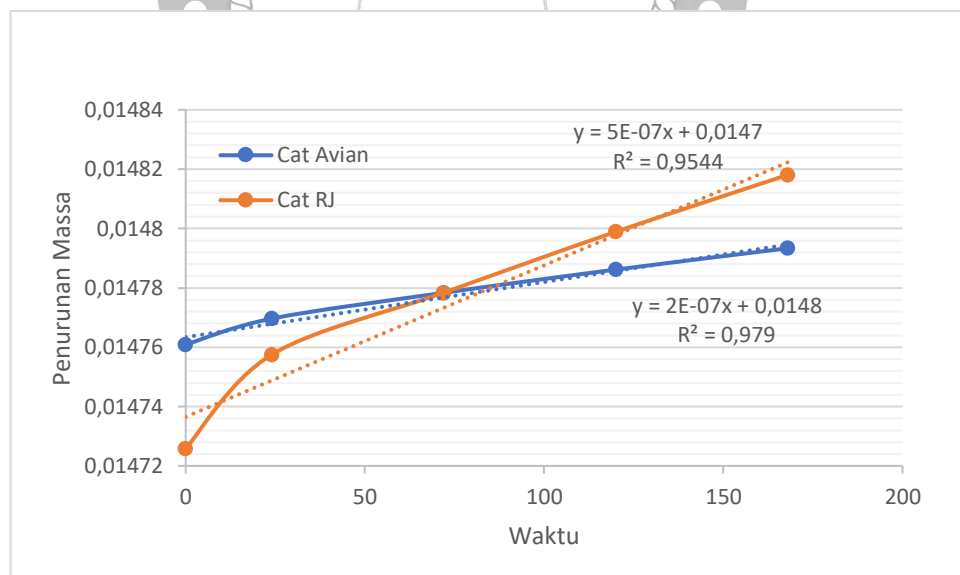


Gambar 4.10 Grafik Laju Korosi penambahan 3 gram pada cat di lingkungan Basa

Berdasarkan data pengukuran laju korosi pada penambahan masing-masing cat 3 gram natrium silikat, natrium silikat pada penambahan cat A memiliki nilai laju korosi yang relatif kecil dibandingkan dengan penambahan pada cat B. Nilai yang didapati dalam keadaan asam $0,54 \times 10^{-4}$ mmpy dan keadaan basa $0,72 \times 10^{-4}$ mmpy menunjukkan bahwa penambahan natrium silikat pada cat A dapat menghambat laju korosi secara optimal. Kenaikan jumlah natrium silikat yang ditambah dapat meningkatkan pH lokal (cat) sehingga dapat membantu memperlambat dalam lingkungan reaksi korosi (asam). Silika gel membentuk lapisan $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ saat terhidrolisis dan menutup pori-pori cat.



Gambar 4.11 Grafik Laju Korosi penambahan 5 gram pada cat di lingkungan asam



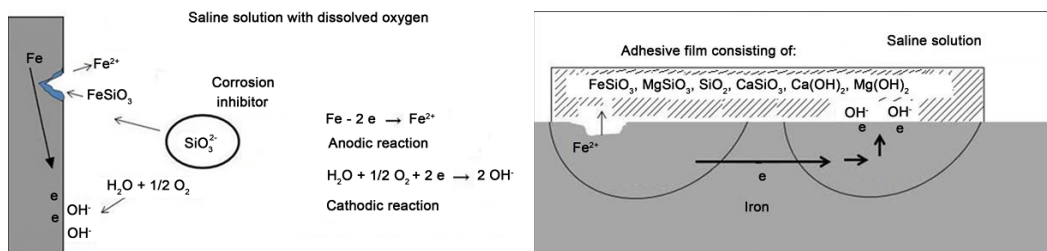
Gambar 4.12 Grafik Laju Korosi penambahan 5 gram pada cat di lingkungan Basa

Berdasarkan data pengukuran laju korosi pada penambahan masing-masing cat 5 gram natrium silikat, natrium silikat pada penambahan cat A memiliki nilai laju korosi yang relatif kecil dibandingkan dengan penambahan pada cat B. Nilai yang didapati menunjukkan bahwa penambahan natrium silikat pada cat A dapat menghambat laju korosi secara optimal. Berdasarkan data penambahan komposisi 1 gram, 3 gram,

dan 5 gram, dapat diketahui dengan nilai laju korosi yang paling efektif terdapat pada penambahan 3 gram dengan nilai laju korosi $0,54 \times 10^{-4}$. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan jumlah natrium silikat pada pelapisan dapat membantu melapisi dan pemerataan yang lebih baik dibandingkan dengan penambahan 1 gram.

Berdasarkan data masing-masing penambahan natrium silikat sebagai zat pelapis anti korosi didapatkan dengan nilai R^2 paling tinggi pada orde dua, maka reaksi laju lebih mengikuti orde dua baik pada cat Avian maupun pada cat RJ. Reaksi orde dua berarti laju reaksi berbanding lurus dengan kenaikan 2 kali konsentrasi pada suatu reaktan. Efektivitas pembentukan lapisan pelindung meningkat secara non-linear terhadap konsentrasi natrium silikat. Reaksi orde dua menggambarkan rentang awal optimal namun orde reaksi tersebut tidak berlaku secara linear terus-menerus pada konsentrasi tinggi apabila tidak dilakukan kontrol yang tinggi. Setelah titik jenuh mekanisme reaksi dapat berubah menjadi reaksi terbatas difusi, menimbulkan agregasi atau presipitasi.

Penambahan natrium silikat yang berlebih dapat menyebabkan natrium silikat mengendap pada cat sehingga tidak terjadinya penyebaran yang merata pada permukaan logam (Li *et al.*, 2021). Gumpalan pada cat akan membuat cat memiliki celah untuk masuknya gugus pereduksi sehingga logam didalamnya berkarat. Konsentrasi natrium silikat yang tinggi dapat mengganggu ikatan antara cat dengan substrat logam sehingga cat mudah mengelupas saat terkena larutan dan logam terekspos dan membuat logam dapat terkorosi. Konsentrasi natrium silikat yang berlebih juga dapat menyebabkan lingkungan berubah menjadi sangat basa sehingga laju korosinya akan meningkat (Rukiah *et al.*, 2020).



Gambar 4.13 Mekanisme pembentukan lapisan pelindung permukaan baja

Pelapisan logam besi dengan natrium silikat berperan efektif dalam menghambat laju korosi melalui mekanisme penghambatan anodik. Dalam lingkungan korosif, ion silikat (SiO_3^{2-}) bermigrasi menuju area anoda pada permukaan logam, tempat terjadinya reaksi oksidasi besi. Ion ini kemudian bereaksi dengan ion Fe^{2+} yang dihasilkan, membentuk senyawa kompleks berupa silikat besi (FeSiO_3). Endapan tersebut menciptakan lapisan pasif yang menutupi permukaan logam dan menghalangi kontak langsung dengan air, oksigen, serta ion agresif lainnya, sehingga menghambat jalannya reaksi korosi.

Saat natrium silikat larut dalam air, ia membentuk asam ortosilikat (H_2SiO_3) yang terdehidrasi menjadi lapisan silika amorf ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Lapisan ini bersifat inert dan berfungsi sebagai barrier fisik dan kimia, mengurangi difusi ion korosif ke permukaan logam. Dengan demikian, perlindungan yang diberikan bersifat ganda, yakni melalui endapan kimia (FeSiO_3) dan lapisan silika pasif, yang secara sinergis meningkatkan ketahanan korosi besi.