

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Sabut kelapa

Sabut kelapa merupakan limbah padat hasil pengolahan kelapa yang melimpah di Indonesia. Meskipun sebagian besar dimanfaatkan sebagai bahan kerajinan rumah tangga seperti keset dan sapu, minat terhadap produk ini mulai menurun akibat persaingan dengan bahan sintetis (Efrita et al., 2020). Sabut kelapa mengandung serat alami (*cocofiber*) dan serbuk halus (*cococoir*), yang berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai bahan baku produk bernilai tambah. Oleh karena itu, diperlukan inovasi pemanfaatan sabut kelapa menjadi material fungsional yang lebih kompetitif dan bernilai ekonomi tinggi.

Sabut kelapa mengandung komponen utama seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang membentuk struktur serat alaminya. Selain itu, sabut kelapa juga menyimpan senyawa anorganik seperti silika, kalsium, dan kalium, terutama setelah proses pembakaran. Berdasarkan penelitian Zahrina (2017), abu sabut kelapa mengandung silika sebesar 61,3%, sehingga menjadikannya sumber potensial untuk pemanfaatan sebagai bahan baku silika.

Serat sabut kelapa diklasifikasikan menjadi serat pendek dan serat panjang, tergantung pada metode pengolahannya. Serat pendek dihasilkan melalui proses mekanis, sedangkan serat panjang diperoleh secara manual dengan waktu produksi yang lebih lama. Meskipun pengolahan kelapa umumnya berfokus pada daging buah, potensi pemanfaatan produk sampingan seperti sabut kelapa masih belum dioptimalkan dan umumnya dilakukan secara tradisional. Hal ini membuka peluang untuk inovasi pengolahan sabut kelapa menjadi produk bernilai tambah melalui pendekatan teknologi (Mahmudah, 2020).

Sabut kelapa merupakan material lokal yang unggul karena memiliki ketahanan terhadap air, gesekan, pembusukan, jamur, serta tidak mudah diserang hama atau rayap (Pristi, 2019). Abu hasil pembakarannya mengandung silika, yang dapat disintesis menjadi natrium silikat. Senyawa ini berpotensi sebagai inhibitor korosi karena mampu membentuk lapisan pelindung pada permukaan baja dan menghambat reaksi oksidasi dengan lingkungan.

2.1.2 Silika

Silikon dioksida (SiO_2), yang secara umum dikenal sebagai silika atau pasir kuarsa, merupakan salah satu oksida logam yang melimpah di alam. Senyawa ini banyak ditemukan dalam bentuk kuarsa dan pasir sebagai komponen alami, umumnya dalam struktur kristalin. Sebaliknya, silika hasil sintesis cenderung bersifat amorf (Ramadhani et al., 2021). Keunggulan silika terletak pada kemampuannya dalam adsorpsi dan pertukaran ion, ketahanan terhadap tekanan mekanik dan suhu tinggi, serta fleksibilitasnya untuk dimodifikasi secara kimia (Hermanto et al., 2018).

Sumber silika dari batu alam termasuk kategori bahan tidak terbarukan karena terbentuk melalui proses geologis jangka panjang (Hermanto et al., 2018). Penambangan pasir silika yang terus menerus dapat menyebabkan kerusakan ekosistem dan sedimentasi. Sebagai alternatif berkelanjutan, silika juga dapat diperoleh dari bahan organik yang tergolong sumber terbarukan. Berbagai limbah biomassa seperti abu tongkol jagung, sekam padi, daun tebu, dan jerami gandum diketahui mengandung silika dalam jumlah optimal. Penggunaan bahan baku ini tidak hanya mengurangi ketergantungan pada sumber mineral, tetapi juga memberikan nilai tambah pada limbah pertanian melalui pendekatan ramah lingkungan dan ekonomis.

Tabel 2. 1 Kandungan silika dari berbagai sumber biomassa

Sumber Silika	Kadar Silika (%)	Referensi
Abu ampas tebu	90,82	Miratsi <i>et al.</i> , 2021
Abu sekam padi	94.40	Putri <i>et al.</i> , 2022
Abu Jerami padi	60	Wibowo <i>et al.</i> , 2018
Abu sabut kelapa	61.30	Lestari <i>et al.</i> , 2023

Silika (SiO_2) adalah senyawa silikon dan oksigen yang umum ditemukan di alam, terutama dalam bentuk kuarsa. Silika secara alami dapat bertransformasi menjadi tiga fase kristalin utama yang stabil pada rentang suhu berbeda, yaitu kuarsa yang terbentuk pada suhu hingga 870°C , tridimit yang muncul antara 870 hingga 1470°C , serta kristobalit yang stabil pada kisaran suhu tinggi antara 1470 hingga 1710°C . Selain itu, silika juga dapat berbentuk amorf tanpa tatanan kristal periodik, yang biasanya terbentuk melalui presipitasi atau pendinginan cepat. Silika amorf dikenal memiliki kemampuan adsorpsi tinggi dan stabilitas kimia yang baik, sehingga silika banyak dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi, termasuk proses pemurnian dan material fungsional di bidang industri dan penelitian (Priyanto, 2015).

Silika merupakan material anorganik yang menunjukkan kestabilan tinggi terhadap pengaruh mekanis, termal, dan kimia. Senyawa ini berwarna putih, memiliki titik leleh sekitar 1610°C dan titik didih mencapai 2320°C . Sifat kelarutannya sangat terbatas, karena tidak larut dalam air dingin, air panas, maupun alkohol, namun dapat terlarut dalam asam fluorat (HF). Selain bersifat inert terhadap hampir seluruh jenis asam dan gas, silika juga menunjukkan ketahanan yang baik terhadap nitrogen, kecuali fluor yang mampu bereaksi dengannya (Ramdhani *et al.*, 2021).

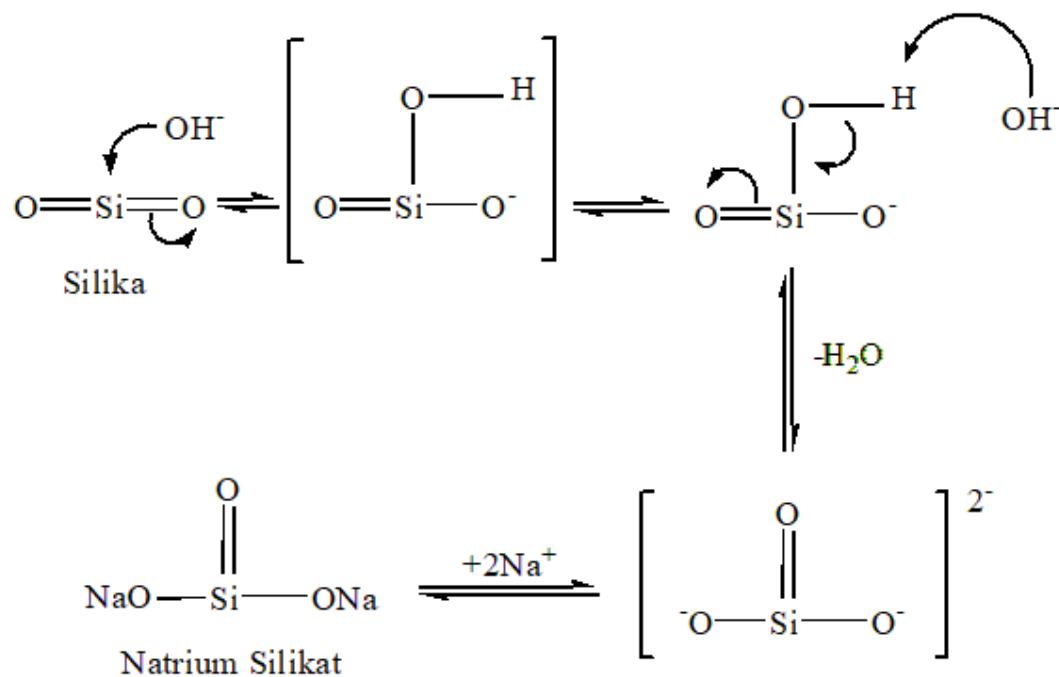
2.1.3 Natrium Silikat

Natrium silikat, yang juga dikenal sebagai *water glass*, merupakan senyawa anorganik hasil kombinasi ion natrium (Na^+) dan silikat (SiO_3^{2-}), di mana variasi struktur anion silikatnya dipengaruhi oleh rasio molar keduanya. Senyawa ini berbentuk padatan putih atau tidak berwarna, larut

dalam air, serta memiliki berat molekul sekitar 122,06 g/mol (Ramadhani et al., 2021). Karakteristik fisik natrium silikat meliputi konduktivitas tinggi, mobilitas ion yang baik, dan viskositas yang bervariasi tergantung jenis dan strukturnya (Kristy & Zainul, 2019). Di pasaran, natrium silikat umumnya tersedia dalam bentuk padat berukuran 120 mesh, dan banyak dimanfaatkan dalam industri sebagai agen pemutih logam, bahan tambahan deterjen, serta pengatur pH bersifat alkali.

Produksi natrium silikat umumnya dilakukan melalui reaksi antara sumber alkali dan silika dalam fase padat, di mana salah satu metode konvensional melibatkan pemanasan campuran pasir silika dan natrium karbonat (Na_2CO_3) pada suhu tinggi. Proses ini menghasilkan lelehan yang kemudian dikristalisasi menjadi bentuk padat. Dalam struktur natrium silikat, terbentuk ikatan ionik sebagai hasil dari kecenderungan atom untuk mencapai kestabilan melalui transfer elektron (Kristy & Zainul, 2019). Efisiensi pembentukan natrium silikat sangat berperan dalam optimalisasi konversi silika, sehingga dapat meningkatkan kapasitas penyerapan senyawa tersebut. Pada temperatur tinggi, struktur kuarsa mengalami pemutusan ikatan siloksan akibat interaksi dengan basa kuat, yang menyebabkan transisi dari bentuk kristalin silika menjadi senyawa ionik yang lebih mudah larut. Transformasi ini tidak hanya meningkatkan kelarutan silika, tetapi juga memperluas potensi aplikasinya dalam berbagai sektor industri.

Natrium silikat mudah larut dalam air dan membentuk larutan basa dengan pH yang tinggi. Kelarutan ini memungkinkan natrium silikat mudah diaplikasikan dengan larutan cair dan membentuk lapisan pelindung yang kuat dari lingkungan asam. Ketika diaplikasikan, natrium silikat dapat bereaksi dengan karbon dioksida dan uap air di udara membentuk lapisan silikon dioksida yang tidak larut dan tahan serangan kimia. Lapisan ini mencegah penetrasi air, oksigen dan bahan korosif lainnya sehingga sering digunakan sebagai pelapis anti korosi pada logam dan beton.



Gambar 2.1 Mekanisme Reaksi Pembentukan Natrium Silikat

2.1.4 Baja

Baja merupakan paduan logam yang berbasis besi dengan penambahan unsur karbon sebagai komponen utama penguat. Kandungan karbon pada baja bervariasi antara 0,2% hingga 2,1% berat, tergantung pada klasifikasinya. Peran karbon sangat penting dalam meningkatkan kekuatan mekanik baja dengan cara menghambat pergerakan dislokasi pada struktur kristalnya. Selain karbon, unsur paduan seperti mangan (Mn), kromium (Cr), vanadium (V), dan tungsten (W) juga sering ditambahkan untuk memodifikasi sifat fisis dan kimia baja secara lebih spesifik (Tarkono et al., 2012).

Penambahan karbon dalam struktur baja memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan sifat mekanik, terutama dalam meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik. Namun, peningkatan ini sering disertai dengan penurunan keuletan serta kecenderungan material menjadi lebih getas. Dalam konteks pengembangan material teknik, baja paduan diklasifikasikan berdasarkan elemen penyusunnya dan umumnya mengandung unsur logam seperti aluminium, kromium, tembaga, mangan,

nikel, molibdenum, fosfor, titanium, silikon, dan vanadium yang masing-masing berfungsi memperkuat dan menstabilkan sifat fisis serta kimia baja tersebut.

Stainless steel merupakan baja tahan karat austenitik dan feritik, yang terdiri dari paduan logam Fe dan Cr dan Ni yang memberikan sifat mekanik yang baik dan ketahanan terhadap korosi pada temperature yang tinggi (Prihatnadi dan Santoso, 2010). Ketahanan terhadap korosi pada material ini dihasilkan oleh terbentuknya lapisan pasif oksida kromium yang stabil. Kandungan kromium minimal sekitar 30% dibutuhkan untuk memastikan pembentukan lapisan pelindung, dengan 12% diperlukan untuk inisiasi pasivasi dan 18% berkontribusi signifikan terhadap ketahanan terhadap oksidasi di udara.

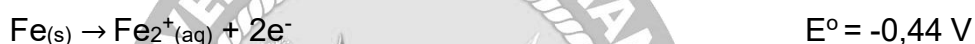
Baja Paduan 4140 merupakan baja Paduan kromium molybdenum yang banyak digunakan untuk baja dengan kekuatan tarik tinggi sebagai komponen baut, roda gigi dan material militer. Baja 4140 memiliki kandungan karbon yang sedikit lebih tinggi dan memberikan kekuatan yang lebih besar dan kemampuan perlakuan panas dibandingkan baja 4130. Baja ini banyak digunakan untuk berbagai bidang di mana ketangguhan dan ketahanan diperlukan. Kelebihan dari baja ini yaitu memiliki ketahanan dan kekuatan mekanis lebih tinggi dibandingkan dengan *stainless steel*.

2.1.5 Korosi

Korosi merupakan bentuk degradasi material logam yang disebabkan oleh reaksi elektrokimia antara logam atau paduannya dengan lingkungan sekitar (Azwar, 2011). Meskipun bersifat alamiah dan tidak dapat sepenuhnya dihindari, korosi tetap dapat diminimalkan melalui upaya proteksi terhadap logam dari interaksi langsung dengan lingkungan. Proses ini umumnya terjadi ketika atom logam melepaskan elektron dan bertransformasi menjadi ion yang larut dalam medium, menyebabkan logam secara bertahap mengalami kehilangan massa dan menghasilkan produk korosi seperti karat (Utomo, 2015).

Paparan besi terhadap air dan oksigen atmosfer memicu reaksi elektrokimia yang menyebabkan perubahan logam menjadi ion pada permukaan yang terpapar. Oksigen yang terlarut dalam air bertindak sebagai oksidator, mengubah ion Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} yang selanjutnya berinteraksi membentuk senyawa hidrat besi oksida ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), dikenal sebagai karat, yang tampak sebagai endapan merah kecoklatan. Proses ini mencerminkan mekanisme dasar korosi logam akibat lingkungan lembap dan kaya oksigen.

Reaksi oksidasi yang berlangsung di anoda :



Bagian permukaan besi yang mengalami kontak langsung dengan air menjadi area utama terjadinya reaksi korosi, di mana atom-atom Fe mengalami oksidasi dan terlepas sebagai ion Fe^{2+} . Elektron yang lepas akan bergerak menuju daerah dengan konsentrasi oksigen yang tinggi atau tepian air.

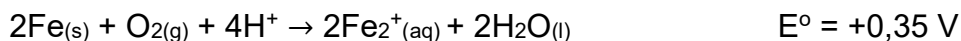
Reaksi reduksi yang berlangsung di katoda :



atau



Reaksi keseluruhan :

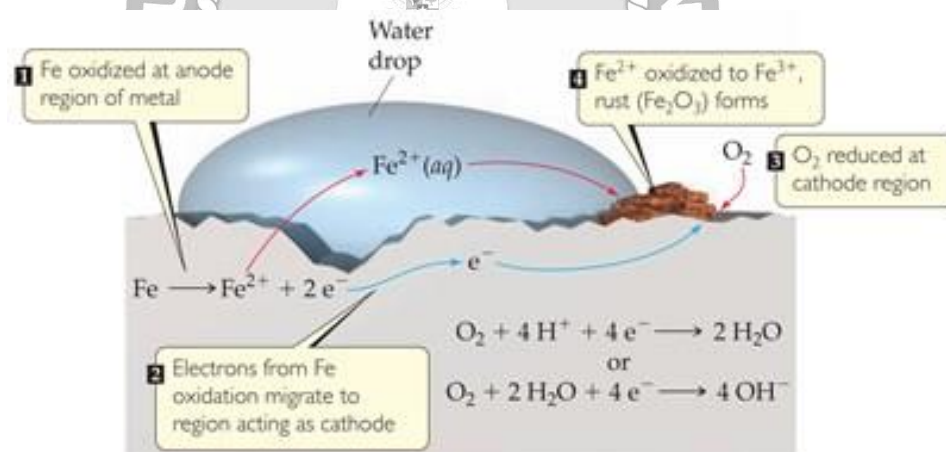
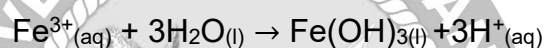


Produk korosi besi berupa senyawa $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ merupakan padatan berwarna coklat yang terbentuk melalui mekanisme redoks, di mana ion Fe^{2+} yang terlarut dalam air bereaksi dengan oksigen terlarut membentuk endapan karat. Proses korosi ini dapat dikendalikan dengan menekan laju reaksinya, sehingga kerusakan material dapat diminimalkan. Secara umum, laju korosi dipengaruhi oleh dua kelompok faktor, yaitu sifat intrinsik material logam dan kondisi lingkungan sekitarnya.

Korosi merupakan fenomena degradasi material logam yang dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara proses fisik, kimia, dan biologis.

Keberadaan oksigen dan air menjadi faktor utama yang mendukung berlangsungnya proses ini. Laju korosi dapat meningkat akibat kehadiran medium asam, elektrolit, kontak galvanik dengan logam yang lebih mulia seperti tembaga (Cu), serta akumulasi produk korosi itu sendiri. Secara kuantitatif, laju korosi diartikan sebagai laju kehilangan massa logam pada area anodik atau laju deposisi logam pada area katodik, yang menggambarkan penurunan kualitas material terhadap waktu.

Reaksi karat pada logam besi :



Gambar 2.2 Reaksi karat pada logam besi

Sumber : Brown *et al.*, 2015

2.1.6 Dip Coating

Pelapisan permukaan material menjadi aspek penting dalam industri untuk mempertahankan kualitas dan kinerja material saat digunakan. Salah satu teknik pelapisan yang sederhana dan efisien adalah metode *dip coating*, yaitu pencelupan substrat ke dalam larutan pelapis, diikuti dengan penarikan secara vertikal pada kecepatan konstan (Mardhiyah, 2020). Proses ini memungkinkan terbentuknya lapisan tipis pada permukaan substrat akibat penguapan pelarut dan efek gravitasi yang menyebabkan sebagian larutan mengalir turun (Mukhsinin *et al.*, 2019).

Ketebalan film yang terbentuk pada permukaan substrat dapat dikendalikan melalui pengaturan laju penarikan selama proses pelapisan. Teknik ini secara luas diterapkan dalam sintesis lapisan tipis material ferroelektrik dan semikonduktor karena menawarkan prosedur yang sederhana, ekonomis, ramah lingkungan, serta tidak memerlukan peralatan yang kompleks. Beberapa parameter penting yang mempengaruhi kualitas akhir lapisan meliputi durasi perendaman, kecepatan penarikan, jumlah siklus pencelupan, jenis substrat yang digunakan, konsentrasi larutan, suhu, dan kelembapan lingkungan.

2.2 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.2 Penelitian terdahulu

No	Penelitian terdahulu	Hasil	Relevansi
1.	Pattanayak, D. K., Muduli, J., Sahu, S. S., Gouda, S., Meher, S., Dash, T., ...& Pattnaik, P. K. (2021). Production and characterization of amorphous silica nanoparticles from coconut shell and coir.	Nanosilika berhasil diperoleh dari abu sabut dan cangkang kelapa melalui kalsinasi 700°C, perlakuan HCl, dan metode sol-gel. Karakterisasi XRD, FT-IR, dan SEM menunjukkan struktur amorf, dan ikatan silanol yang sesuai.	Sabut kelapa merupakan sumber silika amorf melalui proses kalsinasi dan pelarutan didukung dengan analisis karakterisasi XRD dan FTIR
2.	Mainier, F. B., Figueiredo, A. A. M., de Alencar Junior, A. A. M., & de Almeida, B. B. (2018). Proposal of the use sodium silicate as a corrosion inhibitor in hydrostatic testing of petroleum tanks using seawater.	Penambahan inhibitor natrium silikat dapat menurunkan laju korosi pada baja dan meningkatkan pH larutan yang bersifat basa sehingga membentuk lapisan pasif yang melindungi dari korosi	Natrium silikat efektif menghambat korosi pada lingkungan laut dengan cara membentuk lapisan pelindung pasif pada permukaan logam.
3.	Rukiah, R., Putra, D. M., Solihudin, S., Hartati, Y. W., & Noviyanti, A. R. (2020). Pengaruh Konsentrasi Natrium Silikat Terhadap Laju Korosi Paduan	Natrium silikat efektif menghambat korosi pada konsentrasi 25 mM, namun pada 100 mM justru mempercepat laju korosi, menunjukkan bahwa efektivitasnya bergantung	Jumlah komposisi natrium silikat mempengaruhi efektivitas inhibisi korosi pada Paduan aluminium. Titik optimum

	Aluminium dalam Lingkungan Natrium Klorida 3, 5%.	pada konsentrasi optimum dalam lingkungan.	mempengaruhi keefektivan inhibisi korosi.
4.	Zurriatina, Z., Sari, R., & Nahar, N. (2019). Pemanfaatan Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Baku Natrium Silikat.	Tempurung kelapa berpotensi sebagai bahan baku natrium silikat melalui ekstraksi NaOH, dengan hasil optimal pada konsentrasi 30% dan waktu 150 menit menghasilkan 1,74 gram. Karakterisasi FT-IR dan XRD menunjukkan kemiripan dengan natrium silikat komersial, menjadikannya sumber yang efektif untuk aplikasi industri.	Silika dalam tempurung kelapa dapat dimanfaatkan untuk sintesis natrium silikat dengan hasil dan kualitas produk dipengaruhi oleh variasi konsentrasi NaOH serta waktu ekstraksi.

2.3 Kerangka Berpikir

2.3.1 Kerangka Berpikir I

Abu sabut kelapa mengandung silika (SiO_2) yang dapat disintesis menjadi natrium silikat melalui proses pemanasan pada suhu tinggi (600°C) dan pengendapan dengan HCl selama 18 jam untuk memperoleh silika amorf. Hasil silika yang didapat memiliki nilai pelebaran puncak difraksi pada sudut $2\theta = 26^\circ$ yang menunjukkan bentuk amorphous (Silvia dan Zainuri, 2020).

2.3.2 Kerangka Berpikir II

Silika hasil isolasi direaksikan dengan larutan NaOH melalui proses pemanasan untuk menghasilkan produk akhir natrium silikat. Karakterisasi menggunakan ATR dari natrium silikat berada pada rentang bilangan gelombang $600\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ dengan pola penyerapan khas silika berupa gugus siloksan ($\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$) dan silanol ($\equiv\text{Si-OH}$) (Azis dkk, 2024).

2.3.3 Kerangka Berpikir III

Natrium silikat dapat larut dalam larutan basa dicampur dengan larutan cat sebagai material tambahan untuk menganalisis laju korosi. Pengujian dilakukan dengan metode *weightloss* untuk mengetahui perbandingan komposisi natrium silikat yang ditambahkan pada permukaan baja.

2.4 Hipotesis

2.4.1 Hipotesis I

Silika berhasil diisolasi dari sabut kelapa melalui proses kalsinasi dan pemurnian, senyawa silika yang terbentuk akan menunjukkan pola difraksi khas kuarsa amorf atau kristalin yang terindikasi melalui karakterisasi XRD.

2.4.2 Hipotesis II

Silika hasil isolasi direaksikan dengan larutan NaOH pada suhu dan waktu tertentu, menghasilkan senyawa natrium silikat yang ditandai dengan munculnya pita serapan khas gugus siloksan dan silanol.

2.4.3 Hipotesis III

Variasi komposisi natrium silikat dalam larutan pelapis ditingkatkan, ketahanan baja terhadap laju korosi akan meningkat akibat pembentukan lapisan pelindung yang lebih padat dan stabil.

