

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu mengenai kitosan dan CaO dari limbah cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) untuk dijadikan biokoagulan yang ramah lingkungan telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu. Penelitian menurut Mutakhabbatillah *et al.*, (2023) menjelaskan terkait dosis optimum kitosan terhadap kualitas *effluent* air yang telah sesuai baku mutu air bersih dan menentukan variasi koagulan kitosan untuk pengolahan air dengan penambahan larutan asam asetat (CH_3COOH) 2%. Kemudian pada penelitian Achmad *et al.*, (2021) juga menjelaskan terkait pengaruh variasi dosis koagulan dari kitosan kulit udang dengan penambahan HCl 1 N, NaOH 6%, dan asam asetat (CH_3COOH) 1% dalam penjernihan air. Pada penelitian Nasrulloh *et al.*, (2021) menjelaskan terkait kemampuan variasi antara cangkang keong sawah (*Pila apullacea*) dan cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) sebagai koagulan kitosan untuk menurunkan kadar COD dan TSS pada limbah cair batik, diperoleh penurunan pada kadar COD pada perlakuan 3 dengan hasil rata-rata sebesar 232,22 mg/L dengan persentase 25,39% sedangkan peningkatan dengan hasil 202 mg/L dengan persentase 12,62%.

Penelitian menurut Mardiana, (2021) memanfaatkan kitosan dari cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) dengan penambahan larutan NaOH 50%, HCl 1 M, NaOCl 4% serta penentuan derajat deasetilasi sebesar 50,9849%. Pada penelitian Evi *et al.*, (2020) memanfaatkan kalsium oksida (CaO) dari cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) dengan menggunakan metode kalsinasi pada suhu 500°C dan 1000°C di dalam pembuatan biokoagulan untuk penjernihan air tanah terjadi perubahan nilai TDS, pH, konduktivitas listrik dan perubahan warna, semakin banyak massa CaO yang diaplikasikan semakin jernih air yang diperoleh. Penelitian Hairunisa *et al.*, (2019) memanfaatkan kalsium oksida (CaO) dari cangkang kerang ale-ale (*Meretrix-meretix*) dengan metode kalsinasi pada suhu 700°C selama 4 jam sehingga diperoleh komponen terbesar pada cangkang ale-ale adalah kalsium (Ca) sebesar 89,887% atau 87,476% dalam bentuk oksida. Akan

tetapi, pada metode kalsinasi dengan suhu 700°C selama 4 jam hanya memperoleh mineral CaCO₃ dan Ca(OH)₂ sehingga tidak terbentuk mineral CaO. Penelitian lain menurut Azizati, (2019) karakterisasi kitosan dari kulit udang galah (*Macrobrachium rosenbergii*) dengan penambahan NaOH 4% serta penentuan derajat deasetilasi sebesar 93,47%. Penelitian diperoleh hasil analisis FTIR bahwa terjadi penurunan intensitas tertinggi pada bilangan gelombang 1658 cm⁻¹ (gugus fungsi C=O) dan 1558 cm⁻¹ (gugus fungsi N-H) yang menunjukkan bahwa kitosan sudah berhasil disintesis dari deasetilasi kitin.

Penelitian Cahyono, (2018) memanfaatkan kitosan dari kulit udang windu (*Panaeus monodon*) sebagai bahan baku pembuatan biokoagulan dengan menggunakan penambahan larutan NaOH 3 N, HCl 1 N, NaOH 50%, NaOH 40% dan H₃BO₃ 2% dengan perhitungan rendemen sebesar 14%. Kemudian pada penelitian Mursida (2018) memanfaatkan kulit udang windu dan kulit udang vinnamei sebagai bahan baku kitosan dari penelitian tersebut dilakukan analisis yang terdiri atas analisis senyawa kimia, derajat deasetilasi dan kandungan N-kitosan dan penelitian menurut Sumiyati *et al*, (2015) memanfaatkan kitosan dari cangkang kerang hijau (*Perna Viridis*) dengan NaOH 3% dan HCl 1,25 N sebagai biokagulan dan penambahan kimia koagulan berupa *Poly Aluminium Klorida* (PAC) sebagai perbandingannya. Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan hasil efisiensi penyisihan pada parameter konsentrasi kekeruhan sebesar 69%, TSS sebesar 83,9%, dan penyisihan COD sebesar 67,8%. Ringkasan Penelitian terdahulu terdapat pada tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Ringkasan Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
1.	Mutakhab bibatillah <i>et al.</i> , (2023)	Untuk menentukan dosis optimum kitosan terhadap kualitas <i>effluent</i> air yang	Hasil penelitian ini diperoleh bahwa kitosan <i>crosslink</i> glutaraldehida lebih efektif dalam	Tujuan penelitian, bahan baku, variabel penelitian.

No.	Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		telah sesuai baku mutu air bersih dan menentukan variasi koagulan kitosan untuk pengolahan air dengan penambahan larutan asam asetat (CH_3COOH) 2% dan glutaraldehid 2,5%.	menurunkan kadar TSS, pH, dan kekeruhan yang optimum dengan dosis 400 ppm dan 700 ppm serta nilai masing-masing sebesar 24 mg/L; 7,86 mg/L; dan 7,26. Sedangkan, koagulan kitosan juga efektif dalam menurunkan nilai BOD dengan dosis 700 ppm sebesar 0,135 mg/L. Namun, kurang efektif dalam menurunkan COD dikarenakan dosis yang tidak sesuai dalam penambahan koagulan.	
2.	Achmad <i>et al.</i> , (2021)	Untuk menganalisis pengaruh variasi dosis koagulan dari kitosan kulit udang dengan penambahan HCl 1 N, NaOH 6%, dan asam asetat (CH_3COOH) 1%	Berdasarkan uji FTIR, nilai derajat deasetilasi kitosan 1 (hasil penelitian) mirip dengan kitosan 2 (komersial). Kitosan 1 memiliki derajat deasetilasi 82,69% dan kitosan 2 memiliki derajat asetilasi	Tujuan penelitian, bahan baku, variabel penelitian.

No.	Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		dalam penjernihan air.	83,43%. Persen penurunan kekeruhan tertinggi yaitu kitosan 1 pada dosis 1 ppm dengan penurunan mencapai 92% dan kekeruhan sebesar 4,08 NTU. Kitosan 2 dapat menurunkan kekeruhan hingga 3,72 NTU dengan penurunan 94%. Sedangkan PAC dapat menurunkan kekeruhan sampai dengan 16,3 NTU dengan persen penurunan 78%, pada dosis 6 ppm.	
3.	Nasrulloh <i>et al.</i> , (2021)	Untuk mengetahui kemampuan variasi antara cangkang keong sawah (<i>Pila apullacea</i>) dan Cangkang kerang darah (<i>Anadara granosa</i>) sebagai koagulan kitosan	Hasil dari penelitian ini diperoleh penurunan pada kadar COD pada perlakuan 3 dengan hasil rata-rata sebesar 232,22 mg/L dengan persentase 25,39%. Sedangkan untuk kadar TSS terjadi peningkatan dengan hasil 202 mg/L dengan persentase	Bahan baku, variabel penelitian.

No.	Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		untuk menurunkan kadar COD dan TSS pada limbah cair batik.	12,62% lebih tinggi dari perlakuan awal yaitu sebesar 16 mg/L.	
4.	Mardiana, (2021)	Untuk mengetahui hasil karakteristik kitosan pada cangkang kerang darah (<i>Anadara granosa</i>) dengan penambahan larutan NaOH 50%, HCl 1 M, NaOCl 4% serta penentuan derajat deasetilasi sebesar 50,9849%.	Hasil penelitian pada analisis kitosan dari cangkang kerang darah (<i>Anadara granosa</i>) memiliki karakteristik organoleptik berbentuk butiran serbuk dan berwarna putih keabuan. Selain itu, dihasilkan 1,2440% kadar nitrogen; 3,4672% kadar abu; 3,4677% kadar air dan 50,9849% derajat deasetilasi.	Bahan baku, variabel penelitian.
5.	Evi <i>et al.</i> , (2020)	Untuk mengamati pengaruh preparasi dan sintesis CaO dari cangkang kerang darah (<i>Anadara granosa</i>) dengan metode kalsinasi	Hasil dari penelitian ini diperoleh nilai TDS, pH, konduktivitas listrik dan warna. Nilai awal sampel dengan hanya menggunakan CaCO ₃ tidak terjadi perubahan yang	Tujuan penelitian, bahan baku.

No.	Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		pada suhu 500°C dan 1000°C di dalam pembuatan biokoagulan untuk penjernihan air tanah.	signifikan. Sedangkan, dengan penambahan CaO terjadi perubahan nilai TDS, pH, konduktivitas listrik dan perubahan warna. Semakin banyak massa CaO yang diaplikasikan semakin jernih air yang diperoleh.	
6.	Hairunisa <i>et al.</i> , (2019)	Untuk mensintesis kalsium oksida (CaO) dari cangkang kerang ale-ale (<i>Meretrix-meretrix</i>) dengan metode kalsinasi pada suhu 700°C selama 4 jam.	Hasil dari penelitian ini diperoleh komponen terbesar pada cangkang ale-ale adalah kalsium (Ca) sebesar 89,887% atau 87,476% dalam bentuk oksida. Akan tetapi, pada metode kalsinasi dengan suhu 700°C selama 4 jam hanya memperoleh mineral CaCO ₃ dan Ca(OH) ₂ sehingga tidak terbentuk mineral CaO.	Tujuan, bahan baku, variabel penelitian.
7.	Azizati, (2019)	Untuk mengetahui karakterisasi kitosan dari kulit	Hasil analisis dengan FTIR menunjukkan bahwa terjadi penurunan intensitas	Tujuan penelitian, bahan baku,

No.	Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		udang galah (<i>Macrobrachium rosenbergii</i>) dengan penambahan NaOH 4% serta penentuan derajat deasetilasi sebesar 93,47%.	tertinggi pada bilangan gelombang 1658 cm ⁻¹ (gugus fungsi C=O) dan 1558 cm ⁻¹ (gugus fungsi N-H) yang menunjukkan bahwa kitosan sudah berhasil disintesis dari deasetilasi kitin.	variabel penelitian.
8.	Cahyono, (2018)	Untuk mengetahui karakterisasi kitosan dari limbah kulit udang windu (<i>Panaeus monodon</i>) dengan menggunakan larutan NaOH 3 N, HCl 1 N, NaOH 50%, NaOH 40%, H ₃ BO ₃ 2% dengan menggunakan perhitungan rendemen sebesar 14%, analisis	Hasil analisis karakterisasi kitosan diperoleh 14 % rendemen; 12,29% kadar air; 0,99% kadar abu; 3,13% kadar lemak; 81,39% karbohidrat; 98,65% derajat deasetilasi; 2,20% total nitrogen; dan viskositas sebesar 1713,04 cps.	Tujuan penelitian, bahan baku, variabel penelitian.

No.	Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		proksimat serta logam berat.		
9.	Mursida (2018)	Untuk mengetahui sifat alkali (NaOH 3,5% dengan perbandingan 1:10 (b/v), KOH 5 M dan CaOH ₂ 2%) dan menentukan sifat kitosan yang diperoleh.	Analisis yang dilakukan terdiri atas analisis senyawa kimia, derajat deasetilasi dan kandungan N-kitosan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat kitosan hasil 4,45–28,43%; abu 0,42–1,30%; N-total 5,08–5,73%; dan derajat deasetilasi 83,40–83,45%.	Tujuan penelitian, bahan baku.
10.	Sumiyati <i>et al</i> , (2015)	Untuk mengetahui potensi limbah cangkang kerang hijau (<i>Perna Viridis</i>) dengan NaOH 3% dan HCl 1,25 N sebagai biokagulan dan penambahan kimia koagulan berupa <i>Poly</i>	Hasil dari penelitian ini diperoleh variasi dosis biokoagulan yaitu 100 mg/l, 150 mg/l, 200 mg/l, 250 mg/l, dan 300 mg/l serta variasi pencampuran cepat yaitu 100 rpm, 125 rpm, 150 rpm. Pada Penelitian ini juga menggunakan PAC untuk media pembandingnya.	Bahan baku, variabel penelitian.

No.	Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		<i>Aluminium Klorida</i> (PAC) sebagai perbandingannya.	Berdasarkan hasil efisiensi penyisihan pada parameter konsentrasi kekeruhan sebesar 69%, TSS sebesar 83,9%, dan penyisihan COD sebesar 67,8%.	

Penelitian-penelitian diatas menunjukkan bahwa kitosan dapat menurunkan kadar polutan di dalam limbah cair batik. Penelitian ini membuat biokoagulan kitosan dan CaO dari cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) sebagai media koagulasi di dalam menurunkan kadar polutan di dalam limbah cair batik. Limbah cair batik yang digunakan di dalam penelitian ini merupakan limbah cair batik dari salah satu pengerajin batik yang di peroleh dari Kabupaten Cilacap.

2.2 Teori-Teori yang Relevan

2.2.1 Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa*)

Kerang darah dengan nama latin *Anadara granosa* merupakan hewan bentos yang sering dijumpai di Asia Timur dan Asia Tenggara. Kerang darah (*Anadara granosa*) umumnya hidup di sekitar perairan yang mengalami pasang surut dengan kondisi substrat pasir berlumpur serta mengandung banyak organik. Kerang darah (*Anadara granosa*) dapat bertahan hidup dengan menyerap makanan dari perairan melalui jaringan tubuhnya. Oleh karena itu, kerang darah (*Anadara granosa*) sangat bergantung dengan kondisi habitatnya (Silaban et al., 2022). Kerang darah (*Anadara granosa*) memiliki kandungan utama dalam cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) yang berupa kitin, CaCO₃ dan kalsium hidrosiapatit dan Ca₃(PO₄)₂ serta memiliki konsentrasi hemoglobin yang berada di dalam cairan merah, sehingga masyarakat menyebutnya sebagai kerang darah (*Anadara*

granosa) (Hakam *et al.*, 2023). Cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) darah dapat dilihat pada gambar 2.1 sebagai berikut:



Gambar 2.1 Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa*)

(Sumber: Febriarni, U. 2022)

2.2.2 Biokoagulan

Koagulan adalah bahan kimia yang digunakan untuk membantu proses sedimentasi partikel-partikel kecil yang tidak dapat mengendap pada pengolahan air limbah (Setyawati & Sari, 2018). Koagulan yang biasa digunakan dalam industri pengolahan air adalah koagulan kimia seperti tawas, *Poly Aluminium Chlorida* (PAC), Ferri Klorida, Ferri Sulfat, dan polimer kation. Pada penelitian yang dilakukan Pratiwi *et al.*, (2023) menyatakan bahwa koagulan merupakan senyawa yang dibubuhkan untuk membuat flok pada proses koagulasi flokulasi yang mana terjadi reaksi pembubuhan koagulan kedalam spesimen air sehingga partikel yang tidak dapat mengendap dapat terikat dan menggumpal sehingga akan mudah mengendap dan air limbah akan menjadi jernih.

Biokoagulan adalah koagulan alami yang berperan dalam proses sedimentasi partikel-partikel kecil yang sulit mengendap. Biokoagulan berfungsi untuk mengikat kotoran atau partikel-partikel yang terdapat di dalam air. Kinerja biokoagulan saling berikatan dengan gugus fungsi atau senyawanya. Karakteristik biokoagulan dapat menentukan mekanisme selama proses koagulasi dan flokulasi. Gugus hidroksil adalah gugus/senyawa fungsional yang paling banyak disebutkan yang berkontribusi pada proses koagulasi dalam biokoagulan, diikuti oleh gugus amina dan karboksil serta protein. Gugus hidroksil dan karboksil mewakili gugus

terionisasi yang ada dalam biokoagulan. Beberapa senyawa bahkan terdapat pada jenis biokoagulan tertentu, misalnya kitin dan kitosan (Bija *et al.*, 2020).

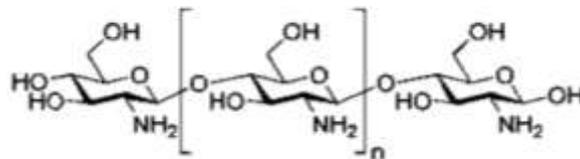
Koagulan alami memiliki keunggulan seperti mudah terurai oleh mikroorganisme (*biodegradable*), tersedia dalam jumlah banyak, harga relatif murah, volume *sludge* lebih sedikit, flok yang terbentuk lebih kuat dan stabil, serta non toksik (Kristianto *et al.*, 2019). Koagulan berfungsi mendestabilisasi dan mengikat partikel atau kotoran yang terkandung di dalam air (Hendrawati *et al.*, 2016). Penggunaan koagulan alami dilakukan sebisa mungkin untuk mengurangi penggunaan bahan sintesis dengan tujuan lebih ramah lingkungan. Penggunaan koagulan memberikan keuntungan dibandingkan dengan bahan sintesis lainnya karena bersifat alami. Biaya penggunaan koagulan alami ini akan lebih murah dibandingkan penggunaan koagulan yang biasa digunakan (*syntetic*) untuk penjernihan air (Haslinah, 2020).

2.2.3 Kitosan

Kitosan adalah polimer karbohidrat secara alami berasal dari kitin dan ditemukan dalam jumlah banyak pada *crustaceae*, jamur, serangga dan beberapa jenis ganggang. Pada dasarnya kitosan merupakan polisakarida yang terdiri atas monomer N-asetilglukosamin dan D-glukosamin dengan rumus molekul $(C_6H_{11}NO_4)_n$ yang memiliki senyawa poli aminosakarida yang disintesis dengan perantara gugus 2-asetil sebagian dihilangkan dari kitin [poli(2-asetamido-2-deoksi- β -(1-4)-D-glukopiranos)], biopolymer linear dengan 2000 hingga 5000 unit monomer dengan ikatan glukosidik β -(1-4). (Kitosan) Kitosan dapat dikarakterisasi dengan derajat deasetilasi, berat molekul dan residu protein. Namun, parameter yang paling utama dalam karakterisasi spesies kitosan yaitu derajat deasetilasi (Azizati, 2019).

Pembuatan kitosan terdapat beberapa proses yaitu, deproteinasi, demineralisasi, dan deasetilasi. Deproteinasi adalah proses untuk memutuskan ikatan antara protein dan kitin dengan cara menambahkan natrium hidroksida, demineralisasi yaitu proses untuk menghilangkan garam-garam anorganik atau kandungan mineral yang ada pada bahan baku kitosan, dan deasetilasi adalah proses

transformasi kitin menjadi kitosan menggunakan basa kuat. Sedangkan untuk struktur rumus kitin yang mencirikan adanya gugus fungsi yaitu terdapat gugus asetamida (-NHCOCH₃) pada kitin membentuk ikatan glikosida yang menunjukkan adanya vibrasi peregangan lemah dari ikatan C=O berada pada rentang panjang gelombang 1500 – 1000 cm⁻¹ (Masindi dan Herdyastuti, 2017). Struktur rumus kitosan yang mencirikan adanya gugus fungsi pada kitosan yaitu dengan adanya gugus N-H berada pada rentang panjang gelombang 650 – 750 cm⁻¹ (Handayani *et al.*, 2018). Gugus fungsi N-H yang menunjukkan bahwa kitosan telah berhasil disintesis dari deasetilasi kitin (Handayani *et al.*, 2018). Hal ini menunjukkan bahwa gugus N-H amida sekunder yang terdapat pada struktur molekul kitin berkurang akibat lepasnya gugus asetil dan terbentuknya gugus amina (NH₂) pada kitosan (Handayani *et al.*, 2018). Rumus struktur kitosan dapat dilihat pada gambar 2.2 sebagai berikut:

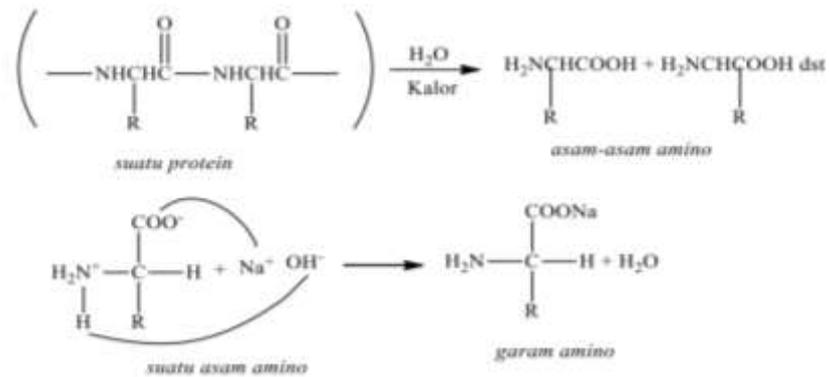


Gambar 2.2 Rumus Struktur Kitosan

(Sumber: Ridwanto, *et al.* 2016)

2.2.4 Deproteinasi

Deproteinasi adalah proses untuk mengeliminasi kandungan protein pada cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) (Hakam *et al.*, 2023). Pada proses deproteinasi, serbuk cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) direaksikan dengan menggunakan NaOH sehingga menyebabkan protein larut dalam basa dan terikat secara kovalen pada gugus fungsi serbuk akan terpisah. Untuk mempercepat proses pengikatan ujung rantai protein dengan NaOH menyebabkan proses degradasi serta pengendapan protein berlangsung secara sempurna dilakukan dengan proses pengadukan dan pemanasan (Silalahi *et al.*, 2020). Reaksi deproteinasi dapat dilihat pada gambar 2.3.

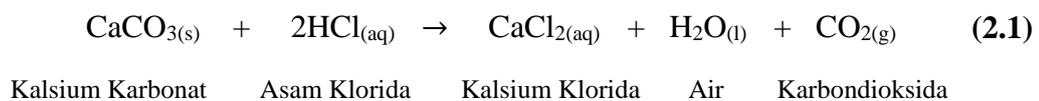


Gambar 2.3 Reaksi Deproteinasi
(Sumber: Nurmala *et al.*, 2018)

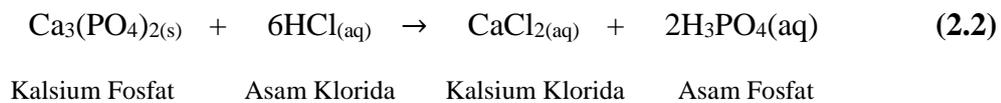
2.2.5 Demineralisasi

Demineralisasi adalah suatu proses perlakuan untuk menghilangkan CaCO_3 dalam jumlah banyak serta $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ dalam jumlah sedikit yang terkandung dalam cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) (Mursida, 2018). Pada proses demineralisasi perlu dilakukan yang bertujuan agar dapat menghilangkan kandungan garam atau mineral anorganik di dalam cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) (Mardiana, 2021). Biasanya garam mineral yang terikat merupakan senyawa kalsium karbonat (CaCO_3) dan kalsium fosfat ($\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$). Semakin tinggi kandungan mineralnya, maka semakin kecil kapasitas penyerapan di dalam cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) apabila dilakukan penelitian lebih lanjut (Hakam *et al.*, 2023).

Proses demineralisasi memerlukan HCl untuk melarutkan senyawa Ca^{2+} dalam $\text{CaCO}_{3(s)}$ sehingga memperoleh $\text{CaCl}_{2(aq)}$ yang terlarut dalam air dengan produk samping gas CO_2 dan air. Kemudian, $\text{CaCO}_{3(s)}$ yang terkandung dalam serbuk cangkang kerang akan bereaksi dengan HCl yaitu menjadi CaCO_3 . Berikut ini merupakan persamaan reaksi pada 2.1 demineralisasi (Masindi, 2017):



Sedangkan, untuk $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2(s)$ akan bereaksi dengan HCl yaitu menjadi



2.2.6 Deasetilasi

Deasetilasi merupakan proses perubahan gugus asetil (-NHCOCH₃) yang diperoleh dari rantai molekular kitin menjadi gugus amina (-NH₂) dengan penambahan pelarut NaOH konsentrasi tinggi. Proses deasetilasi tersebut berfungsi untuk menghilangkan gugus asetil sehingga diperoleh kitosan. Pada reaksi deasetilasi kitin adalah suatu reaksi hidrolisis amida dari α -(1-4)-2-asetamida-2-deoksi-D-glukosa. Kitin cenderung lebih tahan terhadap degradasi dalam suasana basa. Oleh karena itu dengan adanya hasil akhir dari polisakarida yang akan dihasilkan maka proses deasetilasi kitosan dari kitin dilakukan menggunakan larutan yang bersifat basa. Proses deasetilasi dilakukan dengan memberikan basa dengan konsentrasi tinggi yang bertujuan untuk memutuskan gugus asetil yang terikat pada nitrogen dalam struktur senyawa kitin untuk memperbesar persentase gugus amina dalam kitosan (Aulia *et al.*, 2016).

2.2.7 Kalsium Oksida (CaO)

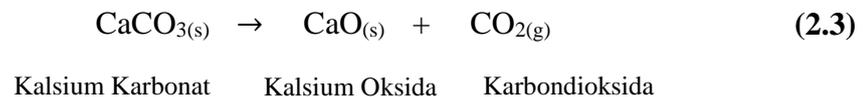
Kalsium Oksida (CaO) merupakan senyawa organik yang mengandung kalsium dan oksigen dalam bentuk ionik atau lebih dikenal luas oleh masyarakat dengan nama kapur yang memiliki beberapa kandungan di dalamnya seperti karbonat, kalsium oksida dan hidroksida. Banyak limbah yang dapat digunakan sebagai sumber CaO alami, seperti limbah cangkang kerang (*Anadara granosa*), cangkang hewan moluska, cangkang telur, dan tulang. Cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) memiliki kandungan mineral kalsium karbonat (CaCO₃) yang tinggi dan mengandung CaO alami sebesar 99,09% (b/b) (Hairunisa *et al.*, 2019).

2.2.8 Kalsinasi

Kalsinasi merupakan proses tahap awal di dalam pembuatan kalsium oksida (CaO) yang berupa reaksi secara endotermik yang berfungsi melepaskan gas-gas dalam bentuk karbonat sehingga menghasilkan bahan dalam bentuk oksida

(Kurniawan, 2014). Menurut Khaira (2011) suhu dan waktu pada proses kalsinasi dapat mempengaruhi kualitas CaO yang akan dihasilkan. Semakin tinggi suhu kalsinasi, maka semakin tinggi kadar CaO yang dihasilkan. Begitu pula dengan waktu kalsinasi, semakin lama waktu di dalam proses kalsinasi maka akan semakin tinggi kadar CaO yang dihasilkan. Selain itu, bentuk fisik CaO yang dihasilkan tergantung pada suhu dan waktu yang digunakan. CaO dengan kadar tinggi akan menghasilkan serbuk yang berwarna putih, hal tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar kandungan CO₂ telah dibebaskan (Khaira., 2011).

Reaksi kimia yang terjadi pada proses kalsinasi dapat dilihat pada persamaan berikut:



2.2.9 Flokulasi

Flokulasi merupakan suatu proses pengadukan secara perlahan terhadap larutan flok yang memperoleh flok-flok yang berukuran lebih besar dan mengendap dengan cepat. Dengan kata lain, flokulasi adalah proses penggabungan flok-flok yang dihasilkan dari proses koagulasi menjadi flok yang lebih besar sehingga partikel-partikel tersebut dapat mengendap. penggabungan flok-flok tersebut terjadi karena proses pengadukan lambat. Faktor yang dapat mempengaruhi proses flokulasi yaitu dosis koagulan yang tepat sangat penting untuk berlangsungnya proses flokulasi, lama pengadukan terutama dalam pengadukan lambat untuk mencegah terpecahnya flok yang telah terbentuk, dan jenis koagulan yang digunakan juga dapat mempengaruhi efektivitas dalam proses koagulasi-flokulasi (Rahimah *et al.*, 2018).

2.2.10 Koagulasi

Koagulasi merupakan suatu proses pencampuran koagulan dengan pengadukan secara cepat agar padatan yang tersuspensi terbentuk menjadi suatu flok. koagulasi adalah proses kimia yang digunakan untuk menghilangkan bahan cemar yang tersuspensi atau dalam bentuk koloid. Proses koagulasi berfungsi untuk mengendapkan partikel-partikel kecil yang tidak dapat mengendap dengan

sendirinya melalui penambahan bahan kimia (koagulan) sehingga membentuk flok melalui proses pengadukan cepat. Prinsip dari proses koagulasi yaitu di dalam air terdapat partikel-partikel padatan yang sebagian besar bermuatan negatif. Partikel ini bertolak belakang satu sama lain sehingga tetap stabil dalam bentuk tersuspensi atau koloid. Netralisasi muatan negatif partikel padatan dilakukan dengan penambahan koagulan bermuatan positif kedalam air dengan pengadukan cepat. Muatan positif harus memiliki muatan yang cukup kuat sehingga terjadinya penetralan muatan negatif dari koloid (Asmiyarna, *et al.*, 2021).

2.2.11 Limbah Cair Batik

Limbah cair merupakan gabungan atau campuran air dan bahan pencemar yang terbawa oleh air, baik dalam keadaan terlarut maupun suspensi yang terbuang dari berbagai sumber seperti domestik maupun industri. Salah satu industri yang menghasilkan limbah cair yaitu industri batik. Karakteristik air limbah industri batik dapat digolongkan menjadi tiga, yaitu karakteristik fisik, meliputi warna, bau, suhu, dan padatan. Warna disebabkan adanya partikel terlarut *dissolved*, tersuspensi *suspended*, dan senyawa-senyawa koloid. Suhu dapat mempengaruhi kadar *Dissolved Oxygen* (DO) dalam air. Kenaikan suhu sebesar 10°C dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen sebesar 10%. Padatan yang terdapat di dalam air limbah dapat diklasifikasikan menjadi *floating*, *settleable*, *suspended* atau *dissolved*, berbau menyengat, dan kontaminan akan membuat air menjadi keruh. Adanya indikator-indikator tersebut dapat menunjukkan bahwa adanya tingkat pencemaran. Kemudian untuk karakteristik kimia meliputi pH, *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Dissolved Oxygen* (DO). COD merupakan banyaknya oksigen yang diperlukan untuk menguraikan bahan organik secara kimiawi. Nilai COD yang semakin tinggi menunjukkan bahwa semakin buruk kualitas air tersebut. DO merupakan ukuran banyaknya kandungan oksigen yang terlarut dalam air. Oksigen terlarut ini merupakan hal yang paling penting untuk kelangsungan hidup biota air. Sedangkan untuk karakteristik biologi, hampir semua air limbah mengandung mikroorganisme yang berkembangbiak dalam berbagai jenis (Apriyani, 2018).

Tabel 2.2 Baku Mutu Limbah Cair Batik*

NO	PARAMETER	KADAR MAKS (mg/L)	BEBAN PENCEMARAN MAKSIMUM (kg/ton)							
			Tekstil Terpadu	Pencucian Kapas, Pemintalan, Penenunan	Perekatan (Sizing) Desizing	Pengikisan, Pemasakan (Klaring, Scouring)	Pemucatan (Bleaching)	Merseri sasi	Pencelupan (Dyeing)	Pencetakan (Printing)
1.	Temperatur	38 °C	-	-	-	-	-	-	-	-
2.	BOD ₅	60	6,00	0,42	0,6	1,44	1,08	0,9	1,2	0,36
3.	COD	150	15,0	1,05	1,5	3,6	2,7	2,25	3,0	0,9
4.	TSS	50	5,00	0,35	0,5	1,2	0,9	0,75	1,0	0,3
5.	Fenol total	0,5	0,05	0,004	0,005	0,012	0,009	0,008	0,01	0,003
6.	Khrom total (Cr)	1,0	0,10	-	-	-	-	-	0,02	0,006
7.	Amoniak total (NH ₃ -N)	8,0	0,80	0,056	0,08	0,192	0,144	0,12	0,16	0,048
8.	Sulfida (sebagai S)	0,3	0,03	0,002	0,003	0,007	0,0054	0,005	0,006	0,002
9.	Minyak dan lemak	3,0	0,30	0,021	0,03	0,07	0,054	0,045	0,06	0,018
10.	pH	6,0 - 9,0								
11.	Debit Maksimum (m ³ /ton produk tekstil)	100	7	10	24	18	15	20	6	

(*Sumber: Peraturan Daerah Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012)

2.2.12 Karakteristik Biokoagulan

2.2.12.1 Gugus Fungsi

Karakterisasi gugus fungsi di uji menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dimana adalah suatu metode analisis berdasarkan pada prinsip interaksi suatu senyawa dengan radiasi elektromagnetik yang menghasilkan suatu getaran (vibrasi) dari suatu ikatan kimia poliatomik atau gugus fungsional senyawa kimia. Alat FTIR dengan spesifikasi Bruker Alpha II Platinum-ATR dapat digunakan untuk menganalisis karakterisasi gugus fungsi suatu sampel. Berikut ini gambar 2.4 menunjukkan alat FTIR yang digunakan pada penelitian pembuatan biokoagulan kitosan dan kalsium oksida (CaO).



Gambar 2.4 Instrumentasi FTIR Spesifikasi Bruker Alpha II Platinum-ATR

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2024)

Biokoagulan kitosan memiliki beberapa gugus fungsi yang berupa gugus C-O pada rentang 1.500 – 1.000 cm^{-1} (Masindi & Herdyastuti, 2017), gugus C=O amino pada rentang 1.400-1.600 cm^{-1} (Melani *et al.*, 2023), gugus C-H alkana pada rentang 1.300-1.500 cm^{-1} (Hariyanto *et al.*, 2023), gugus C-H alkil pada rentang 1300 – 1450 cm^{-1} (Handayani *et al.*, 2018), gugus C-O-C pada rentang 850 – 1080 cm^{-1} (Handayani *et al.*, 2018), gugus Si-O pada rentang 800 – 900 cm^{-1} (Handayani *et al.*, 2018), gugus C-H alkena pada rentang 700-925 cm^{-1} (Masindi & Herdyastuti, 2017), gugus C-H alkana pada rentang 690 – 900 cm^{-1} (Masindi & Herdyastuti, 2017), dan gugus N-H pada rentang 650 – 750 cm^{-1} (Handayani *et al.*, 2018). Tabel 2.3 menunjukkan ringkasan gugus fungsi yang terdapat pada biokoagulan.

Tabel 2.3 Gugus Fungsi Kitosan*

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Sumber
C-O	1500 – 1000	Masindi dan Herdyastuti, (2017)
C=O amino	1400 – 1600	Melani <i>et al.</i> , (2023)
C-H alkana	1300 – 1500	Hariyanto <i>et al.</i> , (2023)
C-H alkil	1300 – 1450	Masindi dan Herdyastuti, (2017)
C-O-C	850 – 1080	Handayani <i>et al.</i> , (2018)
Si-O	800 – 900	Handayani <i>et al.</i> , (2018)
C-H alkena	700 – 925	Masindi & Herdyastuti, (2017)
C-H Alkana	690 – 900	Masindi dan Herdyastuti, (2017)
N-H	650 – 750	Handayani <i>et al.</i> , (2018)

Biokoagulan CaO memiliki beberapa gugus fungsi yang berupa gugus O-H hidroksil pada rentang 3000 – 3750 cm^{-1} (Masindi & Herdyastuti, 2017), gugus N-H amina pada rentang 3000 – 3700 cm^{-1} (Alawiyah & Hadi, 2016), gugus C-O pada rentang 1500 – 1000 cm^{-1} (Masindi & Herdyastuti, 2017), gugus C=O amino pada rentang 1400 – 1600 cm^{-1} (Melani *et al.*, 2023), gugus C-H alkana pada rentang 1300 – 1500 cm^{-1} (Hariyanto *et al.*, 2023), gugus C-H alkil pada rentang 1300 – 1450 cm^{-1} (Handayani *et al.*, 2018), gugus C-O-C pada rentang 850 – 1080 cm^{-1}

(Handayani *et al.*, 2018), gugus Si-O pada rentang 800 – 900 cm^{-1} (Handayani *et al.*, 2018), gugus C-H alkena pada rentang 700-925 cm^{-1} (Masindi & Herdyastuti, 2017), gugus C-H alkana pada rentang 690 – 900 cm^{-1} (Masindi & Herdyastuti, 2017), gugus N-H pada rentang 650 – 750 cm^{-1} (Handayani *et al.*, 2018), dan Ca-O kalsium oksida pada rentang 400 – 600 cm^{-1} (Resaldi *et al.*, 2020). Tabel 2.4 menunjukkan ringkasan gugus fungsi yang terdapat pada biokoagulan CaO.

Tabel 2.4 Gugus Fungsi yang Terdapat pada Biokoagulan

Gugus Fungsi	Rentang Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Sumber
O-H Hidroksil	3000 – 3750	Masindi & Herdyastuti, (2017)
N-H Amina	3000 – 3700	Alawiyah & Hadi, (2016)
C-O	1500 – 1000	Masindi dan Herdyastuti, (2017)
C=O Amino	1400 – 1600	Melani <i>et al.</i> , (2023)
C-H Alkana	1300 – 1500	Hariyanto <i>et al.</i> , (2023)
C-H alkil	1300 – 1450	Handayani <i>et al.</i> , (2018)
C-O-C	850 – 1080	Handayani <i>et al.</i> , (2018)
Si-O	800 – 900	Handayani <i>et al.</i> , (2018)
C-H alkena	700 – 925	Masindi & Herdyastuti, (2017)
C-H alkana	690 – 900	Masindi dan Herdyastuti, (2017)
N-H	650 – 750	Handayani <i>et al.</i> , (2018)
Ca-O Kalsium Oksida	400 – 600	Resaldi <i>et al.</i> , (2020)

2.2.13 Karakteristik Air Limbah yang Diaplikasikan Biokoagulan Kitosan dan CaO

2.2.13.1 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) adalah tingkat keasaman atau kebasaaan yang dimiliki oleh suatu larutan. Derajat keasaman dikenal dengan Lambang pH diambil dari bahasa Perancis “*pouvoir hydrogene*”, artinya tenaga hidrogen menuju eksponensial. Koefisien aktivitas ion hidrogen tidak dapat diukur secara eksperimental, sehingga nilainya didasarkan pada perhitungan teoritis. pH asam

merupakan jumlah konsentrasi ion Hidrogen (H^+) sedangkan pH basa merupakan jumlah konsentrasi ion hidroksil (OH^-). Ion hidrogen (H^+) yang tinggi di dalam air akan menyebabkan air bersifat asam dan ion hidroksida (OH^-) yang terkandung di dalam air akan menyebabkan air bersifat basa. pH merupakan jumlah konsentrasi ion hidrogen (H^+) pada larutan yang menyatakan tingkat keasaman dan kebasaan yang dimiliki. pH merupakan besaran fisis dan diukur pada skala 0 sampai 14 (Basuki, 2021). Bila $pH < 6,5$ larutan bersifat asam, $pH > 7,5$ larutan bersifat basa dan $pH 6,5 - 7,5$ maka larutan bersifat netral.

2.2.13.2 Total Suspended Solid (TSS)

Total Suspended Solid (TSS) atau zat padatan yang tersuspensi adalah semua zat/partikel yang terkandung di dalam air. *Total Suspended Solid* (TSS) merupakan partikel-partikel anorganik, organik, dan cairan yang tak dapat bercampur dalam air. Senyawa padat anorganik antara lain berupa tanah, tanah liat dan lumpur, sedangkan senyawa padat organik yang sering dijumpai adalah serat tumbuhan, sel ganggang dan bakteri. Padatan-padatan ini merupakan pencemar alam yang berasal dari pengikisan air saat mengalir (Sari & Kusniawati, 2022).

Faktor utama yang dapat mempengaruhi kenaikan ataupun penurunan kadar TSS dikarenakan adanya pada saat penambahan biokoagulan yang melebihi batas optimum yang dapat menyebabkan meningkatnya kekeruhan karena terlalu banyak zat terlarut dan juga dapat diakibatkan terjadinya penyerapan kation yang berlebih oleh partikel koloid dalam air sehingga partikel koloid akan bermuatan positif serta terjadi gaya tolak-menolak antar partikel, sehingga terjadi deflokulasi flok (Nasrulloh, 2021).

2.2.13.3 Amoniak (NH_3)

Amoniak (NH_3) merupakan senyawa nitrogen yg menjadi NH_4^+ di pH rendah yang dianggap dengan ammonium. Amoniak dapat beracun bagi kehidupan akuatik pada konsentrasi tinggi dan menunjukkan tingkat pencemaran nitrogen pada badan air. Amoniak pada air permukaan berasal dari air seni, tinja dan penguraian zat organik secara mikrobiologis yang dari berasal air alam atau air buangan industri ataupun limbah domestik. Adanya amoniak tergantung pada beberapa faktor yaitu

sumber-sumbernya amoniak, tumbuhan air yang menyerap amoniak menjadi nutrien, konsentrasi oksigen, dan suhu (Agustiani & Mirwan, 2024).

Kadar amoniak yang tinggi di pada air limbah menunjukkan adanya pencemaran. Amoniak dapat menyebabkan kondisi toksik bagi kehidupan perairan. Konsentrasi tadi tergantung berasal pH serta temperatur yang mempengaruhi air. Nitrogen amoniak berada dalam air sebagai amonium (NH_4^+) berdasarkan reaksi kadar amoniak bebas dalam air meningkat sejalan dengan meningkatnya pH dan suhu. Kandungan organik serta unsur hara lain pada konsentrasi tinggi terutama nitrogen dalam bentuk amoniak (NH_3) di dalam air akan mempercepat pertumbuhan tumbuhan air, kondisi demikian lambat laun akan menyebabkan kematian biota dalam air (Palaefolius *et al.*, 2024).

Peningkatan kadar amoniak dalam air limbah cair batik disebabkan adanya proses pewarnaan yang menghasilkan bahan-bahan pewarna yang tidak mudah larut ataupun terurai. Limbah cair industri batik memiliki intensitas warna yang sangat tinggi sehingga jika air limbah itu langsung dibuang ke badan air akan merusak estetika badan air penerima dan badan air yang bewarna pekat akan menyebabkan tembusnya sinar matahari akan berkurang yang menyebabkan kehidupan air terancam dan apabila zat warna yang digunakan mengandung logam berat maka biota air akan teracuni. (Nurlela, 2018).

2.2.13.4 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimia merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam air atau dengan kata lain adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik atau bahan buangan di dalam air menjadi H_2O dan CO_2 (Hariyadi *et al.*, 2020). Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat organik yang secara alamiah yang dapat dioksidasi melalui proses biologis dan berdampak negatif sehingga mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air (Pungut *et al.*, 2021). Nilai konsentrasi COD pada umumnya lebih besar dari BOD. Air limbah dengan nilai COD yang tinggi menunjukkan adanya banyak bahan organik yang dapat mencemari lingkungan perairan. COD menjadi indikator

jumlah bahan organik yang terdapat dalam air limbah, yang dapat diukur sehingga diketahui kadar penurunan oksigen terlarut dalam badan air (Agustiani & Mirwan, 2024).

2.3 Hipotesis

Hipotesis atau dugaan sementara pada penelitian ini antara lain:

1. Karakteristik biokoagulan kitosan dan CaO dari kerang darah (*Anadara granosa*) memiliki kelarutan kitosan >60%, gugus fungsi C-C, C=C, N-H; O-H; dan -NH₂, morfologi permukaan memiliki pori, karakteristik unsur C, O dan Ca dan kadar air <10%.
2. Karakteristik biokoagulan kitosan dan CaO dari kerang darah (*Anadara granosa*) memiliki gugus fungsi N-H; O-H; dan -NH₂, morfologi permukaan memiliki pori, dan karakteristik unsur C, O dan Ca.
3. Efektifitas biokoagulan kitosan dan CaO dari cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) mampu menurunkan kadar *Total Suspended Solid* (TSS) < 50 mg/L, kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) < 150 mg/L, kadar amonia (NH₃) < 8 mg/L dan derajat keasaman pH 6,0 – 9,0 di dalam limbah cair batik.