

**PREPARASI BIOKOAGULAN DARI LIMBAH  
CANGKANG KERANG HIJAU (*Perna viridis*) UNTUK  
PENGOLAHAN LIMBAH CAIR *LAUNDRY***

**SKRIPSI**

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna Memperoleh  
Gelar Sarjana Sains dalam Ilmu Kimia



**Oleh:**

**PUTRI RAHMAWATI**

**NIM 2108036074**

**PROGRAM STUDI KIMIA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO  
SEMARANG**

**2025**

# PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Putri Rahmawati

NIM : 2108036074

Jurusan : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

## **PREPARASI BIOKOAGULAN DARI LIMBAH CANGKANG KERANG HIJAU (*Perna viridis*) UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH CAIR LAUNDRY**

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri,  
kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 15 April 2025

Pembuat Pernyataan



**Putri Rahmawati**

**NIM. 2108036074**

## PENGESAHAN

Naskah tugas akhir berikut ini:

Judul : **Preparasi Biokoagulan Dari Limbah Cangkang Kerang Hijau (*Perna viridis*) Untuk Pengolahan Limbah Cair Laundry**

Penulis : Putri Rahmawati

NIM : 2108036074

Jurusan : Kimia

Telah diujikan dalam sidang tugas akhir oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam Ilmu Kimia.

Semarang, 28 Mei 2025

### DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang

**Kholidah, M. Sc.**

NIP. 198508112019032008

Sekretaris

**Dr. Mulyatun, M. Si.**

NIP. 198305042011012008

Penguji Utama I

**Dr. Ervin Tri Suryandari, M. Si.**

NIP. 197407162009122001



Penguji Utama II

**Dr. Eng. Anissa Adiwena Putri, M. Sc.**

NIP. 198504052011012015

Pembimbing

**Kholidah, M. Sc.**

NIP. 198508112019032008

# NOTA DINAS

Semarang, 6 Mei 2025

Yth. Ketua Program Studi Kimia  
Fakultas Sains dan Teknologi  
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum. Wr. Wb

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Preparasi Biokoagulan Dari Limbah Cangkang Kerang Hijau (*Perna viridis*) Untuk Pengolahan Limbah Cair *Laundry*.

Nama : Putri Rahmawati

NIM : 2108036074

Jurusan: Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqosah.

Wassalamu'alaikum. Wr. Wb.

Pembimbing,



**Kholidah, M. Sc.**

NIP. 198508112019032008

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan biokoagulan limbah Cangkang Kerang Hijau (CKH) untuk menurunkan tingkat kekeruhan (turbiditas) dan kadar fosfat pada limbah cair *laundry*. Bahan utama yang digunakan yaitu cangkang kerang hijau yang dipanaskan pada suhu 110°C (CKH-1), dikalsinasi pada suhu 500°C (CKH-5), dan 900°C (CKH-9). Proses koagulasi dilakukan dengan pengadukan cepat untuk membentuk flok, serta optimasi pH, dosis koagulan, dan waktu koagulasi. Spektra FTIR menunjukkan keberadaan  $\text{CaCO}_3$  (kalsium karbonat) dalam CKH-1 dan CKH-5, sedangkan CKH-9 telah mengalami transformasi menjadi  $\text{CaO}$  (kalsium oksida). Puncak bilangan gelombang 1440  $\text{cm}^{-1}$  hingga 1427  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan gugus C-O dari  $\text{CaCO}_3$ , sementara Ca-O terdeteksi pada 521–526  $\text{cm}^{-1}$  dalam CKH-9. Analisis XRD mengonfirmasi bahwa CKH-1 memiliki fasa aragonit (sistem kristal ortorombik), CKH-5 berbentuk kalsit (sistem kristal trigonal), dan CKH-9 membentuk  $\text{CaO}$  (sistem kristal kubik). Optimasi menunjukkan bahwa CKH-9 pada pH 2 dengan dosis 2 g dan waktu pengadukan 1 menit adalah kondisi terbaik, dengan penurunan kekeruhan 99,899% dan fosfat 99,895%, menjadikannya koagulan paling efektif dalam pengolahan limbah *laundry*.

**Kata kunci:** koagulasi, flokulasi, agen koagulan, cangkang kerang hijau, optimasi.

## KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang. Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “EFEKTIVITAS BIOKOAGULAN DARI LIMBAH CANGKANG KERANG HIJAU (*Perna viridis*) DALAM PENGOLAHAN LIMBAH CAIR *LAUNDRY*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Walisongo.

Selama proses penyusunan skripsi ini, penulis telah menerima banyak bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Prof. Dr. Nizar Ali, M. Ag., selaku Rektor UIN Walisongo Semarang.
2. Prof. Dr. Musahadi, M. Ag., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
3. Dr. Mulyatun, M. Si., selaku Ketua Program Studi Kimia.
4. Kholidah, M. Sc., selaku Dosen Pembimbing yang telah dengan sabar memberikan arahan, bimbingan, serta

masukannya berharga dalam setiap tahap penyusunan skripsi ini.

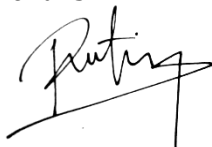
5. Seluruh dosen dan staff Fakultas Sains dan Teknologi yang telah memberikan bekal ilmu dan pelajaran berharga selama masa studi penulis.
6. Drs. Mokamat, M. Si., selaku Kepala Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Grobogan yang telah memberikan fasilitas penelitian di Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Grobogan.
7. Nurul Izzaty, S. T., selaku analis Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Grobogan yang telah memberikan arahan selama masa Kerja Praktik (KP) maupun penelitian skripsi.
8. Tim penelitian 'PCS' dan Zidni Azizati, M. Sc., yang telah memberikan pengalaman tidak terlupakan dan pembelajaran yang berarti.
9. Kedua orang tua, Ayah (H. Suradi) dan ibu (Sriyati), kakak (Alm. Suliswanto dan Andi Murdani) dan seluruh keluarga besar yang selalu mendoakan, memberi semangat, dan menjadi sumber kekuatan dalam menyelesaikan pendidikan ini.
10. Teman-teman seperjuangan di laboratorium dan kelas Kimia'21C, yang telah memberikan bantuan, motivasi, serta kebersamaan yang berarti selama perkuliahan hingga penyusunan skripsi.

11. Teman-teman Posko 5 KKN Reguler 83 Lodoyong Ambarawa serta seluruh warga Kelurahan Lodoyong yang telah memberikan pengalaman pengabdian yang luar biasa.
12. Teman-teman Griya Kos Anugerah dan Ibu Kos yang telah bersedia mendengarkan segala keluhan kesah selama penulisan skripsi.
13. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan ke depannya. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan menjadi kontribusi yang berarti dalam bidang keilmuan.

Semarang, 24 April 2025

Penulis



PUTRI RAHMAWATI

NIM. 2108036074



# DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN.....	i
PENGESAHAN .....	ii
NOTA DINAS .....	iii
ABSTRAK.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah.....	11
C. Tujuan.....	11
BAB II LANDASAN PUSTAKA.....	12
A. Landasan Teori .....	12
1. Kerang Hijau ( <i>Perna viridis</i> ).....	12
2. Metode Koagulasi .....	15
3. Limbah Cair <i>Laundry</i> .....	23
4. Turbiditas .....	27
5. Fosfat .....	30
6. Spektrofotometer <i>UV-Visible</i> .....	33
7. <i>Fourier Transform Infrared (FTIR)</i> .....	35
8. <i>X-ray Diffraction (XRD)</i> .....	41

B. Kajian Pustaka.....	46
C. Hipotesis.....	49
BAB III METODE PENELITIAN .....	50
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	50
B. Alat dan Bahan .....	50
1. Alat.....	50
2. Bahan.....	51
C. Prosedur Kerja.....	51
1. Preparasi Biokoagulan Cangkang Kerang Hijau ( <i>Perna viridis</i> ).....	51
2. Karakterisasi.....	52
3. Preparasi Sampel Limbah Cair <i>Laundry</i> Sintetik	52
4. Uji Turbiditas.....	53
5. Uji Fosfat .....	53
6. Proses dan Optimasi Koagulasi.....	56
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	59
A. Preparasi Biokoagulan Cangkang Kerang Hijau ( <i>Perna viridis</i> ).....	59
B. Karakterisasi FTIR Biokoagulan Cangkang Kerang Hijau ( <i>Perna viridis</i> ).....	62
C. Karakterisasi XRD Biokoagulan Cangkang Kerang Hijau ( <i>Perna viridis</i> ).....	65
D. Kondisi Awal Sebelum Koagulasi .....	70
E. Optimasi pH Koagulasi .....	75
F. Optimasi Dosis Koagulan.....	87
G. Optimasi Waktu Koagulasi.....	96

BAB V PENUTUP .....	108
A. Kesimpulan.....	108
B. Saran .....	109
DAFTAR PUSTAKA .....	110
LAMPIRAN.....	122
Lampiran 1 Hasil Analisa Software Match!4.....	122
Lampiran 2 Hasil Uji Kadar Fosfat .....	131
Lampiran 3 Perhitungan .....	149
Lampiran 4 Dokumentasi .....	165
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	175

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jenis Bahan Tambahan Pada Surfaktan.....	24
Tabel 4. 1 Spesiasi Fosfat dalam Berbagai Rentang pH.....	76
Tabel 4. 2 Hasil Optimasi pH Pada Penurunan Turbiditas.....	76
Tabel 4. 3 Hasil Optimasi pH Pada Penurunan Kadar Fosfat .	82
Tabel 4. 4 Hasil Optimasi Dosis Pada Penurunan Kekeruhan	88
Tabel 4. 5 Hasil Optimasi Dosis Pada Penurunan Kekeruhan	92
Tabel 4. 6 Hasil Optimasi Waktu Pada Penurunan Kekeruhan .....	97
Tabel 4. 7 Hasil Optimasi Waktu pada %Penurunan Turbiditas.....	102

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Cangkang Kerang Hijau .....	14
Gambar 2. 2 Turbidimeter .....	28
Gambar 2. 3 Spesiasi Fosfat Di Berbagai Rentang pH .....	32
Gambar 2. 4 Mekanisme Kerja Spektrofotometri UV-Vis.....	34
Gambar 2. 5 Diagram sinar optik pada spektrometer ATR- FTIR: (a) Geometri pantulan tunggal, dan (b) Geometri pantulan ganda dari elemen refleksi internal (IRE) .....	38
Gambar 2. 6 Spektrum FTIR $\text{CaCO}_3$ .....	39
Gambar 2. 7 Spektrum FTIR $\text{CaO}$ .....	40
Gambar 2. 8 Mekanisme Kerja XRD .....	43
Gambar 2. 9 Difraktogram $\text{CaCO}_3$ dalam berbagai fasa .....	44
Gambar 2. 10 Difraktogram XRD $\text{CaO}$ .....	45
Gambar 4. 1 Sampel CKH-1.....	60
Gambar 4. 2 Sampel CKH-5.....	61
Gambar 4. 3 Sampel CKH-9.....	61
Gambar 4. 4 (a) Hasil Karakterisasi FTIR Cangkang Kerang Hijau (CKH) di Berbagai Rentang Suhu (b) Bilangan gelombang dari getaran pita Ca-O .....	63
Gambar 4. 5 Hasil Karakterisasi XRD Cangkang Kerang Hijau (CKH) di Berbagai Rentang Suhu.....	66

Gambar 4. 6 Perbandingan Difraktogram Sampel dengan JCPDS.....	69
Gambar 4. 7 Limbah Cair Laundry Sintetik .....	71
Gambar 4. 8 Kurva Standar Fosfat .....	74
Gambar 4. 9 Hasil Optimasi pH Pada %Penurunan Turbiditas .....	77
Gambar 4. 10 Hasil Optimasi pH Pada Agen Koagulan CKH-9 .....	81
Gambar 4. 11 Hasil Optimasi pH Pada %Penurunan Fosfat ..	83
Gambar 4. 12 Hasil Optimasi Dosis Pada %Penurunan Turbiditas .....	89
Gambar 4. 13 Hasil Optimasi Dosis Koagulan Pada % Penurunan Kadar Fosfat .....	93
Gambar 4. 14 Hasil Optimasi Waktu Koagulasi Pada % Penurunan Turbiditas .....	98
Gambar 4. 15 Hasil Optimasi Waktu Koagulasi Pada % Penurunan Fosfat.....	103

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 Hasil Analisa Menggunakan Software Match! .....	122
Lampiran 2 Hasil Pengujian Kadar Fosfat .....	131
Lampiran 3 Perhitungan .....	149
Lampiran 4 Dokumentasi .....	165

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Industri *laundry* atau penatu telah menjadi bagian yang penting dalam kehidupan modern, terutama pada daerah perkotaan, di mana kebutuhan akan jasa cuci pakaian semakin meningkat seiring dengan gaya hidup yang semakin sibuk. Bisnis *laundry* memberikan kemudahan bagi masyarakat dalam menjaga kebersihan pakaian tanpa harus menghabiskan waktu dan tenaga. Namun, dibalik manfaat ini, terdapat permasalahan lingkungan yang signifikan, yaitu limbah yang dihasilkan oleh industri *laundry*. Limbah *laundry* termasuk ke dalam kategori *grey water*. Limbah ini umumnya mengandung detergen yang terdiri dari surfaktan, *builder*, agen pemutih, dan bahan tambahan lainnya (Hafidhin *et al.*, 2023). Air limbah yang masih mengandung bahan kimia ini sering kali dibuang secara langsung ke saluran air tanpa pengolahan yang memadai sehingga berpotensi mencemari lingkungan, terutama sumber air bersih.

Lingkungan hidup memiliki hubungan yang sangat kompleks dengan kehidupan di bumi, oleh karena itu diperlukan kesadaran untuk melakukan pengelolaan



lingkungan dengan tepat. Hal ini sejalan dengan firman Allah dalam Al-Qur'an Surat Al-Baqarah ayat 164:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ وَالْفُلْكِ  
الَّتِي تَجْرِي فِي الْبَحْرِ بِمَا يَنْفَعُ النَّاسَ وَمَا أَنْزَلَ اللَّهُ مِنَ السَّمَاءِ مِنْ  
مَاءٍ فَأَخْيَا بِهِ الْأَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا وَبَنَّ فِيهَا مِنْ كُلِّ دَابَّةٍ وَتَصْرِيفِ  
الرَّيْحِ وَالسَّحَابِ الْمُسَخَّرِ بَيْنَ السَّمَاءِ وَالْأَرْضِ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ

Artinya: *"Sesungguhnya pada penciptaan langit dan bumi, pergantian malam dan siang, bahtera yang berlayar di laut dengan (muatan) yang bermanfaat bagi manusia, apa yang Allah turunkan dari langit berupa air, lalu dengannya Dia menghidupkan bumi setelah mati (kering), dan Dia menebarkan di dalamnya semua jenis hewan, dan pengisaran angin dan awan yang dikendalikan antara langit dan bumi, (semua itu) sungguh merupakan tanda tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang mengerti."* (QS. Al-Baqarah [2]:164)

Kandungan bahan kimia yang ada di dalam air limbah *laundry* dapat memberikan dampak negatif terhadap ekosistem air. Bahan kimia seperti surfaktan yang sebagian besar menggunakan LAS (*Linear Alkyl Sufonat*) yaitu jenis surfaktan anionik untuk menurunkan tegangan permukaan air, selain itu fosfat di dalam detergen mempunyai kadar rata-rata 70-80%. Fosfat ini berasal dari *Sodium TripolyFosfate* (STPP) dan biasanya berfungsi sebagai *builder* (Zairinayati & Shatriadi, 2019). Dalam penelitian Intania Dwi (2021) menunjukkan bahwa hasil analisa kadar fosfat pada limbah *laundry* salah satu

usaha *laundry* di Kec. Waru, Kab. Sidoarjo mempunyai kadar fosfat sebesar 83,82 mg/L.

Tingginya kadar fosfat dan surfaktan sebagai dua bahan utama dalam detergen dapat menyebabkan permasalahan pada ekosistem perairan, salah satunya yaitu pertumbuhan alga yang berlebihan di badan air atau eutrofikasi (Mustikarani *et al.*, 2022). Pertumbuhan alga ini mengakibatkan penurunan kadar oksigen di dalam air, yang pada akhirnya dapat menyebabkan kematian massal organisme air (Ratnawati *et al.*, 2018).

Beberapa hasil analisa kadar fosfat yang ada pada limbah *laundry* menunjukkan hasil yang berbeda (Intania Dwi, 2021) Oleh karena itu, penting dilakukan pengolahan limbah *laundry* terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Menurut Fasihah *et al* (2022) banyak penelitian telah dilakukan mengenai pengolahan limbah *laundry* dengan berbagai metode, seperti filtrasi, adsorpsi, flotasi, oksidasi, fotokatalis, pendekatan biologis dan mikro-organisme (Delforno *et al.*, 2020; Giagnorio *et al.*, 2017) serta koagulasi dan flokulasi. Metode koagulasi digunakan dalam proses pengolahan limbah *laundry* karena metode ini memiliki beberapa keunggulan yaitu lebih hemat biaya, cepat, efektif, dan efisien dalam

menghilangkan polutan organik maupun anorganik dengan menambahkan agen koagulan (Fitria *et al.*, 2022).

Koagulasi adalah proses pengolahan air limbah dengan cara mendestabilisasikan partikel-partikel koloid menggunakan agen koagulan. Sedangkan flokulasi adalah proses lanjutan dari koagulasi di mana partikel yang sudah terdestabilisasi akan membentuk flok yang lebih besar (Ekoputri *et al.*, 2023). Owodunni & Ismail (2021) menjelaskan bahwa koagulan yang ditambahkan ke dalam limbah cair akan terdistribusi secara merata ke seluruh badan air sambil memfasilitasi tumbukan partikel. Partikel tersuspensi segera mulai berkumpul, koagulan berhasil menetralkan muatan dan flok mulai terbentuk. Proses flokulasi mendorong pengelompokan flok di dalam air. Setelah pencampuran cepat yang menyeluruh, pencampuran dengan intensitas sedang menandai dimulainya proses flokulasi, di mana muatan permukaan partikel berkurang dan tarikan listrik antar partikel meningkat yang menghasilkan flok. Ukuran partikel bertambah seiring partikel dan agregat berkumpul, sehingga partikel tersuspensi menjadi lebih terlihat. Ketika partikel bertabrakan dan berinteraksi, flok yang lebih besar terbentuk dan mulai mengendap di dasar badan air sebagai persiapan untuk proses sedimentasi.

Proses sedimentasi yang maksimal sangat bergantung pada agen koagulan yang digunakan.

Secara garis besar agen koagulan dibagi menjadi dua kelompok yaitu koagulan sintetis (kimia) dan koagulan alami (*green coagulant*). Koagulan kimia yang telah banyak digunakan dalam pengolahan air limbah industri yaitu aluminium sulfat (tawas), polialuminium klorida, besi (III) klorida, besi sulfat, dan *lime*. Namun, telah dilaporkan bahwa bahan tersebut dapat mengubah pH air karena mengurangi alkalinitas, oleh karena itu kapur atau soda abu ditambahkan untuk mempertahankan pH air yang diinginkan (Owodunni & Ismail, 2021). Koagulan alami biasanya digunakan dalam pengolahan air limbah untuk menghasilkan dan menghilangkan lumpur karena mempunyai kelebihan mampu menjaga pH dengan baik. Berbeda dengan koagulan berbahan dasar logam kimia, koagulan alami khususnya koagulan nabati tidak menambahkan logam pada limbah serta volume lumpur yang dihasilkan juga lebih rendah sehingga mengurangi biaya pembuangan lumpur yang diperoleh (Badawi *et al.*, 2023a). Menurut Freitas *et al* (2018) penggunaan koagulan alami memiliki berbagai keuntungan, seperti harga yang relatif terjangkau, bahan baku yang mudah diperoleh, dapat terurai secara alami (*biodegradable*),

lumpur yang dihasilkan dari proses ini tidak termasuk dalam kategori limbah bahan beracun dan berbahaya (B3), jumlah lumpur yang dihasilkan lebih sedikit, serta memiliki tingkat toksisitas yang rendah.

Ada berbagai sumber koagulan organik, yang meliputi tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme. Menurut Kristianto *et al* (2020) koagulan nabati telah lebih banyak diteliti dibandingkan dua sumber lainnya karena ketersediaannya yang melimpah. Berbagai koagulan alami yang telah diteliti sebelumnya meliputi, biji kelor, jarak pagar, kulit pisang, pati kulit singkong, biji buah pepaya, biji semangka, kacang polong, biji okra dan biji nirmali. Selain koagulan nabati, koagulan yang bersumber dari hewan juga mempunyai potensi untuk dikembangkan menjadi biokoagulan karena sifat ramah lingkungannya dan biodegradasinya. Sebagai negara dengan perairan yang luas, Indonesia mempunyai berbagai jenis komoditas laut yang memiliki kandungan potensial sebagai koagulan, seperti kitosan dari udang dan kepiting (*Purwaningsih et al.*, 2020), sisik ikan bandeng (*Bija et al.*, 2020), kalsium dari cangkang kerang darah (*Evi et al.*, 2020) dan kitin dari cangkang kerang hijau (*Syamsidar et al.*, 2017).

Kerang hijau (*Perna viridis*) atau dapat dikenal dengan sebutan *green mussel* merupakan binatang lunak

(*mollusca*), tergolong binatang bercangkang dua (*bivalvia*), dan hidup di laut (Fauzi *et al.*, 2022b). Berdasarkan data dari Kementerian Kelautan dan Perikanan, produksi kerang hijau di Indonesia terus mengalami peningkatan selama 5 tahun terakhir. Pada tahun 2017, produksi kerang hijau mencapai 264.728 ton dan pada tahun 2021, produksi meningkat menjadi 348.880 ton (Hidayah, 2023). Di Indonesia sendiri konsumsi kerang hijau cukup tinggi. Hal ini berbanding lurus pada limbah cangkang kulitnya yang juga meningkat, sementara pemanfaatan limbah cangkang ini umumnya hanya digunakan sebagai hiasan atau pupuk.

Cangkang kerang memiliki sifat yang tidak beracun, *biodegradable* serta mudah untuk berinteraksi dengan zat organik lainnya seperti protein (Tanjung, 2016). Menurut Aridhani *et al* (2021) cangkang kerang hijau mempunyai kandungan kalsium sebesar 99,5%, skandium sebesar 0,245% dan stronsium sebesar 0,477%. Keberadaan kalsium dalam kadar yang tinggi membuat cangkang kerang hijau ini berpotensi sebagai bahan koagulan. Tiandho *et al* (2018) menyebutkan bahwa kandungan kalsium dalam bentuk kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) pada cangkang kerang hijau dapat diubah menjadi kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) sebagai bahan baku agen koagulan

yang dapat menyebabkan terjadinya penggumpalan partikel-partikel kecil menjadi partikel yang lebih besar. Oleh karena itu cangkang kerang hijau berpotensi untuk mengatasi polutan di dalam air sehingga alternatif ini sangat cocok digunakan.

Keberadaan  $\text{CaCO}_3$  pada cangkang kerang hijau memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai biokoagulan. Baik itu dalam bentuk  $\text{CaCO}_3$  itu sendiri maupun bentuk lebih lanjut yaitu  $\text{CaO}$ . Hasil penelitian Marwanto & Mulyati (2022) menunjukkan bahwa biokoagulan dari cangkang telur ayam dengan kandungan  $\text{CaCO}_3$  87%-97% mampu menurunkan kadar Fe pada air sungai sebesar 75,68% hingga 85,59%. Hal ini mengonfirmasi bahwa  $\text{CaCO}_3$  dapat digunakan sebagai biokoagulan dalam pengolahan air.

Evi *et al* (2020) telah melakukan penelitian membandingkan antara biokoagulan  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{CaO}$  dari limbah cangkang kerang darah untuk penjernihan air tanah terpolusi (studi kasus: Selindung). Penelitian ini menyatakan bahwa penambahan  $\text{CaCO}_3$  tidak memiliki efek yang signifikan terhadap penjernihan air. Setelah penambahan  $\text{CaO}$  terjadi perubahan nilai TDS, pH, konduktivitas listrik dan perubahan warna yang signifikan. Hal ini bisa terjadi karena perbedaan fase

kristal pada  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{CaO}$ . Menurut Mulyaningsih, (2018) umumnya, ada dua fase kristal  $\text{CaCO}_3$  yang berasal dari alam, yaitu aragonit dan vaterit, namun kedua fase ini kurang stabil. Jika terjadi dekomposisi lebih lanjut maka  $\text{CaCO}_3$  akan berubah fase menjadi kalsit yang lebih stabil. Sehingga dimungkinkan jika dilakukan perbedaan perlakuan pada proses pemanasan maka mampu meningkatkan keefektivitasan dari  $\text{CaCO}_3$  sebagai biokoagulan.

Rahimah *et al* (2016) menambahkan bahwa  $\text{CaO}$  bekerja lebih efektif dalam menurunkan BOD dan COD dalam air limbah *laundry* maupun limbah deterjen buatan dibandingkan dengan *Poly Aluminium Chloride* (PAC). Hal ini dimungkinkan karena  $\text{CaO}$  di dalam air akan membentuk  $\text{Ca(OH)}_2$ , lalu ion  $\text{Ca}^{2+}$  yang ada akan menarik partikel tersuspensi yang menyebabkan penggumpalan dan terjadi sedimentasi. Ion kalsium maupun hidroksida akan bereaksi dengan *orthophosphorus* yang merupakan salah satu senyawa di dalam detergen, sehingga terbentuklah endapan *hydroxyapatite*. Fosfor organik dan *polyphosphate* dipisahkan dengan reaksi lanjutan yang lebih kompleks dengan adsorpsi (*polymer bridging* pada permukaan  $\text{CaO}$ ) dan akan membentuk flok. Selain itu menariknya batu kapur juga dapat dimanfaatkan sebagai



media filtrasi untuk mengurangi kadar kesadahan dan kandungan besi dalam air. Nurhayati, (2010) menyatakan bahwa batu kapur asal Padalarang, Jawa Barat, dengan ukuran partikel 30 mesh dan ketebalan media 30 cm, mampu menurunkan tingkat kesadahan hingga 51,21%.

Berdasarkan kemampuan kalsium sebagai agen koagulan tersebut, maka cangkang kerang hijau yang komposisi terbesarnya merupakan kalsium memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai biokoagulan dalam pengolahan limbah cair *laundry*. Umumnya, limbah hasil biota laut terutama cangkang kerang hanya diambil kitin sebagai bahan baku kitosan, namun ternyata kandungan kalsium yang tinggi pada kulit kerang hijau juga mampu digunakan sebagai biokoagulan dalam bentuk  $\text{CaCO}_3$  maupun menjadi  $\text{CaO}$  yang mempunyai keunggulan sebagai bahan biokoagulan ramah lingkungan.

Oleh karena itu, penelitian ini akan difokuskan pada pengujian efektivitas limbah cangkang kerang hijau sebagai biokoagulan dalam pengolahan limbah cair *laundry* dengan variasi suhu pemanasan  $110^\circ\text{C}$ , kalsinasi suhu  $500^\circ\text{C}$  dan  $900^\circ\text{C}$  untuk mengetahui pengaruhnya terhadap penurunan tingkat kekeruhan dan kadar fosfat pada sampel. Selain itu, dilakukan juga optimasi pH, dosis

kogulan dan waktu koagulasi untuk mendapatkan kondisi optimum koagulasi.

## **B. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik cangkang kerang hijau yang dikalsinasi pada rentang suhu yang berbeda?
2. Bagaimana karakteristik limbah cair *laundry* sebelum dan sesudah diberikan agen koagulan cangkang kerang hijau berdasarkan parameter turbiditas dan fosfat?
3. Bagaimana kondisi optimum untuk proses koagulasi berdasarkan optimasi pH, dosis koagulan dan waktu koagulasi?

## **C. Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui gugus fungsi dan fasa material cangkang kerang hijau yang dikalsinasi pada rentang suhu berbeda.
2. Mengetahui karakteristik limbah cair *laundry* sebelum dan sesudah diberikan agen koagulan cangkang kerang hijau berdasarkan parameter turbiditas dan fosfat.
3. Mengetahui kondisi optimum dari proses koagulasi berdasarkan optimasi pH, dosis koagulan dan waktu koagulasi.

## **BAB II**

### **LANDASAN PUSTAKA**

#### **A. Landasan Teori**

##### **1. Kerang Hijau (*Perna viridis*)**

Kerang hijau adalah organisme dengan dua cangkang yang hidup menetap dan memakan partikel yang tersuspensi di air. Cangkangnya yang berwarna biru-hitam dan memanjang berfungsi melindungi tubuhnya. Kerang ini memiliki dua lubang, yaitu sifon, di cangkangnya. Sifon ekshalan berperan untuk mengeluarkan air, sedangkan sifon inhalan berfungsi untuk mengalirkan air masuk. Tubuhnya terdiri dari organ-organ seperti jantung, mulut, dan anus. Kerang hijau muda dapat bergerak dengan kaki berbentuk lidah yang tersusun dari jaringan otot fleksibel, sementara saat dewasa mereka menggunakan kaki untuk menempel pada permukaan substrat. Habitat kerang hijau biasanya berada di perairan estuari, teluk, dan kawasan mangrove dengan dasar pasir berlumpur dan tingkat salinitas yang moderat. Mereka umumnya menempel secara bergerombol pada permukaan keras seperti batu karang, kayu, bambu, atau lumpur yang padat (Basri & Muhammad, 2023).

Kerang hijau (*Perna viridis*), yang juga dikenal sebagai *green mussel*, adalah hewan lunak (*mollusca*) yang termasuk dalam kelompok bivalvia dan hidup di laut. Cangkang kerang hijau seperti pada Gambar 2.1 biasanya memiliki panjang antara 65-85 mm, meskipun ukuran maksimalnya bisa mencapai 165 mm. Dari segi morfologi, anggota famili *Mytilidae* memiliki cangkang yang ramping dengan dua cangkang yang simetris dan umbo yang melengkung ke depan. Periostrakumnya halus dengan warna hijau pucat yang semakin memudar ke arah umbo berwarna cokelat. Pada bagian punggung terdapat garis pallial dan otot adduktor yang tersebar acak, memberikan bentuk seperti ginjal pada kerang hijau ini (Fauzi *et al.*, 2022a).

Kerang hijau tersebar luas di sepanjang wilayah Indo-Pasifik dan memijah sepanjang tahun, dengan puncak pemijahan terjadi pada April hingga Mei, Agustus, dan November. Di Indonesia, puncak pemijahan kerang hijau berlangsung selama periode yang sama. Kerang hijau merupakan salah satu komoditas perairan dengan potensi besar di Indonesia. Selain memiliki nilai ekonomi yang tinggi di perdagangan, budidaya kerang hijau tergolong murah

dan dapat dipanen dalam waktu 6-7 bulan (Fauzi *et al.*, 2022b).



Gambar 2. 1 Cangkang Kerang Hijau  
(Sumber: (Soegianto *et al.*, 2021))

Menurut Cappenberg (2008) klasifikasi dari kerang hijau (*Perna viridis*) adalah sebagai berikut:

*Kingdom* : *Animalia*

*Phylum* : *Molusca*

*Class* : *Bivalvia*

*Sub class* : *Lamellibranchiata*

*Ordo* : *Anisomyria*

*Superfamily* : *Mytilacea*

*Family* : *Mytilidae*

*Sub family* : *Mytilinae*

*Genus* : *Perna*

*Species* : *Perna viridis*

Menurut Aridhani *et al* (2021) kulit kerang hijau mempunyai kandungan kalsium sebesar 99,5%, Skandium sebesar 0,245% dan Stronsium sebesar 0,477%. Hal ini sesuai dengan penelitian oleh Siriprom *et al* (2012) yang menyatakan bahwa  $\text{CaCO}_3$  merupakan senyawa paling utama yang ada di dalam cangkang kerang yaitu dengan persentase sebesar 99,5%. Kandungan kalsium yang ada pada cangkang kerang hijau sebanyak 95,69% lebih banyak daripada cangkang kerang darah yang hanya sebesar 66,70% (Suhaera *et al.*, 2024).

## **2. Metode Koagulasi**

Koagulasi merupakan proses destabilisasi suatu suspensi atau larutan koloid. Fungsinya adalah untuk mengatasi peningkatan stabilitas sistem dengan bantuan bahan kimia yang disebut koagulan. Pada proses ini, dilakukan pengadukan cepat atau *flash mixing* dengan tujuan mempercepat dan meratakan distribusi bahan kimia ke dalam air yang diolah, sehingga koagulasi berlangsung dalam waktu yang sangat singkat (Ekoputri *et al.*, 2023).

Koagulasi adalah proses penambahan bahan kimia ke dalam air yang menyebabkan partikel-partikel terpisah. Partikel dalam air umumnya berada

dalam keadaan stabil. Tujuan dari koagulasi adalah untuk mendestabilisasi partikel-partikel tersebut sehingga dapat saling menempel dan dihilangkan pada tahap berikutnya. Selain itu, koagulan juga berperan dalam menggumpalkan bahan-bahan dalam air limbah, membentuk flok yang mudah dipisahkan dan diendapkan. Koagulan yang digunakan dalam proses ini meliputi bahan anorganik seperti tawas (aluminium sulfat), natrium aluminat, besi sulfat, besi klorida, dan lainnya (Li *et al.*, 2020).

Menurut Owodunni & Ismail (2021) ada empat mekanisme utama untuk mendestabilisasi koloid selama koagulasi termasuk *sweep flocculation* (perangkap partikel); kompresi lapisan ganda (*double layer compression*); netralisasi muatan (*charge neutralization*); dan adsorpsi polimer (*polymer adsorption*) dan penjembatanan antarpartikel (*interparticle bridging*). Penambahan koagulan yang dicampur secara intensif sehingga larut dan terdistribusi secara merata ke seluruh badan air sambil mendorong tumbukan partikel. Mekanisme lebih lanjut terjadi saat partikel-partikel tersuspensi mulai berkumpul bersama segera, koagulan berhasil menetralkan muatan dan flok terbentuk. Proses

flokulasi mendorong pengelompokan flok di media air. Setelah pencampuran yang cepat dan menyeluruh, pencampuran dengan kecepatan yang sedang menandakan dimulainya proses flokulasi. Pada proses flokulasi ini, muatan yang ada pada permukaan partikel menjadi berkurang dan terjadi tarikan antar partikel yang sudah melemah untuk menghasilkan flok. Ukuran partikel bertambah seiring dengan berkumpulnya partikel dan agregat, sehingga partikel tersuspensi kini lebih jelas terlihat. Ketika partikel-partikel tersebut bertabrakan dan berinteraksi bersama, flok yang lebih besar terbentuk, dan mulai mengendap di dasar badan air sebagai persiapan untuk proses sedimentasi.

Keberlangsungan proses sedimentasi dalam koagulasi sangat dipengaruhi oleh bahan yang menjadi koagulan itu sendiri. Secara garis besar agen koagulan dibagi menjadi dua kelompok yaitu koagulan sintetis (kimia) dan koagulan alami (*green coagulant*). Koagulan kimia yang telah banyak digunakan dalam pengolahan air limbah industri tidak terbatas pada aluminium sulfat (tawas), polialuminium klorida, besi klorida, besi sulfat, dan *lime*. Namun, telah dilaporkan bahwa bahan tersebut dapat mengubah pH air karena



mengurangi alkalinitas, oleh karena itu kapur atau soda abu ditambahkan untuk mempertahankan pH air yang diinginkan (Owodunni & Ismail, 2021).

Koagulan alami sering digunakan dalam pengolahan air limbah untuk membantu menghasilkan dan menghilangkan lumpur serta mampu menjaga pH dengan baik. Berbeda dengan koagulan berbahan dasar logam, koagulan alami tidak menambahkan logam ke dalam limbah dan menghasilkan volume lumpur yang lebih sedikit, sehingga dapat mengurangi biaya pembuangan lumpur (Badawi *et al.*, 2023b). Menurut Freitas *et al* (2018), koagulan alami menawarkan berbagai manfaat, seperti harga yang relatif terjangkau, bahan baku yang mudah ditemukan, dapat terurai secara alami (*biodegradable*), serta lumpur yang dihasilkan bukan limbah bahan beracun dan berbahaya (B3). Selain itu, jumlah lumpur yang dihasilkan lebih sedikit dan memiliki tingkat toksisitas yang rendah. Sumber koagulan organik dapat berasal dari tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme.

Pada proses dan mekanismenya, ada banyak faktor yang mempengaruhi kinerja suatu koagulan. Menurut Rahimah *et al* (2016) beberapa faktor yang mempengaruhi proses koagulasi yaitu:

### 1) Suhu

Pada suhu yang lebih tinggi, molekul-molekul bergerak lebih cepat, meningkatkan frekuensi dan energi tabrakan antara partikel koagulan dan partikel kotoran. Hal ini akan mempercepat reaksi kimia yang menyebabkan pembentukan flok dan koagulasi.

### 2) Derajat Keasaman (pH)

pH memiliki pengaruh terhadap proses koagulasi karena mempengaruhi aktivitas koagulan dan stabilitas partikel-partikel yang hendak diendapkan. Pada pH tertentu, koagulan menghasilkan ion-ion yang optimal untuk mengikat partikel kotoran. Misalnya, aluminium sulfat (alum) bekerja paling efektif pada rentang pH 5,5-7,5, karena pada rentang ini ion  $\text{Al}^{3+}$  membentuk senyawa yang bisa mengendapkan partikel.

### 3) Jenis Koagulan

Jenis koagulan mempengaruhi proses koagulasi karena masing-masing koagulan memiliki sifat kimia, mekanisme kerja, dan efektivitas yang berbeda dalam mengikat partikel kotoran. Koagulan seperti aluminium sulfat (alum)

dan besi klorida bekerja dengan menetralkan muatan partikel koloid dan membentuk flok besar. Mereka efektif pada rentang pH tertentu dan banyak digunakan dalam pengolahan air minum dan limbah. Namun, residu logam yang tertinggal bisa menimbulkan masalah lingkungan.

Koagulan alami seperti kitosan atau ekstrak tumbuhan bekerja dengan cara yang lebih ramah lingkungan, tidak meninggalkan residu logam. Koagulan alami juga dapat terurai secara alami (*biodegradable*) dan menghasilkan lebih sedikit lumpur, tetapi mungkin kurang efektif pada limbah yang sangat tercemar atau dalam kondisi pH ekstrem. Sementara itu, koagulan sintetis seperti polielektrolit kationic bekerja dengan meningkatkan kekuatan flok dan mempercepat proses pengendapan. Mereka sering digunakan bersama koagulan logam untuk meningkatkan efisiensi, tetapi bisa lebih mahal dan menimbulkan tantangan biodegradabilitas..

#### 4) Kadar Ion Terlarut

Ion terlarut tertentu, seperti ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) atau magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), dapat membantu memperkuat struktur flok yang terbentuk,

sehingga proses koagulasi dan pengendapan menjadi lebih cepat dan efisien. Namun, ion lain, seperti natrium ( $\text{Na}^+$ ) dalam air asin, dapat membuat flok lebih kecil dan rapuh sehingga memperlambat proses pengendapan.

#### 5) Tingkat Kekeruhan

Proses destabilisasi akan sukar terjadi apabila dalam kondisi kekeruhan yang rendah. Sebaliknya, pada air dengan kekeruhan yang tinggi maka proses destabilisasi akan berlangsung dengan cepat. Namun, apabila dalam keadaan tersebut dosis koagulan yang digunakan rendah maka flok yang terbentuk kurang efektif.

#### 6) Dosis Koagulan

Pada dosis koagulan yang tepat, koagulan mampu menetralkan muatan partikel kotoran secara efektif, sehingga partikel koloid bergabung dan membentuk flok besar yang mudah mengendap atau dihilangkan. Dosis optimal menghasilkan flok yang kuat, mempercepat proses pengendapan, dan mengurangi kekeruhan air secara maksimal.

Jika dosis koagulan terlalu rendah, tidak cukup ion koagulan yang tersedia untuk

menetralkan muatan partikel koloid. Akibatnya, partikel tetap terdispersi dan tidak bisa membentuk flok yang besar dan stabil, sehingga koagulasi tidak efektif dan kekeruhan air tetap tinggi.

Jika dosis koagulan terlalu tinggi, selain bisa menyebabkan pemborosan bahan kimia, kelebihan koagulan justru dapat mengakibatkan partikel-partikel kembali bermuatan positif, menyebabkan *redisperse* (penyebaran ulang) flok yang sudah terbentuk. Hal ini membuat flok menjadi lebih kecil dan rapuh, sehingga koagulasi menjadi kurang efektif dan dapat meningkatkan kekeruhan air.

#### 7) Kecepatan Pengadukan

Tujuan dari proses pengadukan adalah untuk mencampurkan koagulan ke dalam air. Dalam proses ini, penting untuk memastikan bahwa pengadukan dilakukan secara merata, sehingga semua koagulan yang ditambahkan dapat bereaksi dengan partikel-partikel atau ion-ion yang ada dalam air. Kecepatan pengadukan memegang peran penting dalam pembentukan flok; jika terlalu lambat, flok terbentuk lebih

lambat, dan jika terlalu cepat, flok yang sudah terbentuk dapat pecah.

### 3. Limbah Cair *Laundry*

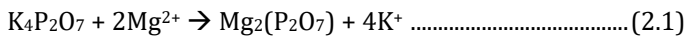
Limbah cair *laundry* adalah salah satu jenis limbah cair domestik yang berasal dari sisa kegiatan mencuci pakaian, di mana limbah ini mengandung deterjen karena penggunaannya dalam proses pencucian (Ardiyanto & Yuantari, 2016). Deterjen adalah garam yang berasal dari asam kuat dan basa kuat serta merupakan surfaktan yang berfungsi menurunkan kekuatan atau ketegangan pada permukaan air (Situmorang, 2017). Surfaktan yang sering digunakan adalah *Alkil Benzene Sulfonate* (ABS) yang merupakan turunan dari senyawa *benzene*. Namun, senyawa ABS ini sangat sukar terdegradasi oleh mikroorganisme karena ikatan pada strukturnya, sehingga berpotensi mencemari air. Karena dampak tersebut, surfaktan ini mulai ditinggalkan dan diganti dengan senyawa  $\alpha$ -dodekana benzensulfonat atau *Linear Alkil Benzene Sulfonate* (LAS) yang dinilai lebih mudah terdegradasi.

Menurut Sodhi (2015) ada beberapa bahan tambahan yang ada pada formulasi surfaktan yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Jenis Bahan Tambahan Pada Surfaktan

Bahan Tambahan	Fungsi	Contoh
Pengembang	Membuat kerja pembersihan yang mungkin dalam air sadah dan memperbaiki efikasi pembersihan	Polifosfat
Pencerah	Menghambar tampilan warna kekuningan pada pakaian dengan memendarkan warna biru.	Ultramarin
Agen pembersih	Menghapus noda	Perborat
Enzim	Menghidrolisis dan menghilangkan noda baik protein maupun tepung	Amilase
Bahan anti redeposisi	Mencegah redeposisi kotoran pada pakaian	Natrium karboksometil selulosa
Pelembut kain	Memberi kain dengan sentuhan lembut	Garam amonium kuartener
Hidrotop	Mempertahankan sedikit kelarutan surfaktan dan zat tambahan dalam larutan	Natrium silena sulfonat

Berdasarkan sudut pandang lingkungan, bahan tambahan yang paling penting adalah pengembang. Peran utama pengembang dalam detergen adalah sebagai agen pemisah yang mengikat kalsium (II) dan magnesium (II) yang ada di air sadah. Polifosfat yang ada pada detergen mampu bereaksi dengan magnesium (II) dan membentuk magnesium pirofosfat sesuai dengan persamaan reaksi 2.1.



Pengembang yang ada di dalam detergen difungsikan untuk meningkatkan efikasi pembersihan campuran, pencucian larutan basa yang dibutuhkan untuk menghilangkan partikel tanah, membantu molekul surfaktan dalam larutan pencucian untuk membentuk agregat dalam gugus misel yang akan melarutkan serta membersihkan minyak dan partikel lemak. Namun, pengembang berbasis fosfat ini menyebabkan permasalahan lingkungan, yaitu perluasan koloni alga yang berkembang di danau-danau yang dapat menyebabkan eutrofikasi.

Banyak dampak yang dapat ditimbulkan oleh penggunaan detergen yang mengandung surfaktan ini, di antaranya yaitu (Sodhi, 2015):

- 1) Eutrofikasi



Detergen yang mengandung pengembang polifosfat mempunyai dugaan menjadi penyebab yang signifikan terjadinya eutrofikasi pada air danau. Selain itu, fosfat dipercaya berkontribusi terhadap pertumbuhan alga yang tidak diinginkan karena dapat menghambat kumpulan air dan dalam pembusukannya dapat mengurangi suplai oksigen sehingga perairan tidak bisa ditinggali oleh ikan.

## 2) Busa

Meskipun tidak ada hubungan antara stabilitas busa dan sifat detergen, beberapa dari penggunaan luas surfaktan menyebabkan buih sehari-hari bahkan berminggu-minggu sehingga dapat merusak tampilan permukaan air.

## 3) Toksisitas pada organisme perairan

Tumbuh-tumbuhan air dan hewan air dipengaruhi oleh buruknya kualitas air yang disebabkan oleh keberadaan detergen dan sabun. Sabun menyebabkan kematian pada ikan jika kadarnya melebihi 10 ppm.

## 4) Kesehatan manusia

Enzim yang ditambahkan untuk melarutkan kotoran yang berbasis protein atau

amilum tidak hanya menyerang pada pakaian berdebu. Pekerja industri detergen terus menerus terpapar dalam kadar rendah enzim yang menyerang tempat tinggal protein pada jaringan paru-paru yang halus sehingga menyebabkan gangguan penyakit pernapasan.

5) Rasa tidak enak pada air minum

Sedikitnya, sekitar 1 ppm detergen alkilbenzena sulfonate menyebabkan keluhan rasa basi dan busuk bagi banyak orang. Detergen dengan konsentrasi lebih dari 1 ppm dapat dihilangkan melalui klorinasi air.

6) Menurunkan efisiensi permurnian air

Saat pemurnian air berlangsung, polutan organik menjadi material tidak berbahaya apabila ada oksigen terlarut, namun keberadaan detergen mampu menghambat kerja tersebut. Lemak dan minyak tidak dapat bercampur dengan air sehingga terpisah. Selain itu, zat tersuspensi dan koloid cenderung menjadi endapan, yaitu mengendap di bawah pengaruh gaya gravitasi.

#### 4. Turbiditas

Kekeruhan atau turbiditas (*turbidity*) adalah kondisi di mana transparansi suatu cairan menurun

akibat adanya zat-zat yang tidak larut. Zat-zat tak terlarut ini bisa berupa partikel seperti lempung, alga, bahan organik, mikroorganisme, material koloid, dan bahkan molekul besar seperti tannin dan lignin. Untuk mengukur tingkat kekeruhan air, digunakan alat yang disebut turbidimeter seperti pada Gambar 2.2, sementara itu hasil pengukurannya dinyatakan dalam NTU (*Nephelometric Turbidity Units*). Prinsip kerja turbidimeter adalah dengan mengukur penyerapan cahaya di mana detektor diletakkan pada sudut  $180^\circ$  dari sumber cahaya, dan yang diukur adalah transmisi cahaya yang melewati campuran atau medium tersebut. Analisis turbiditas didasarkan pada pengukuran intensitas cahaya yang ditransmisikan sebagai fungsi dari konsentrasi fase terdispersi ketika cahaya melewati suspensi (Lutfi, 2019).



Gambar 2. 2 Turbidimeter

Menurut (Kustomo, 2023) gangguan penetrasi cahaya dapat disebabkan oleh peningkatan kekeruhan air yang dapat membahayakan biota air dan memperburuk kondisi permukaan. Nilai kekeruhan yang tinggi membuat organisme patogen menjadi lebih berbahaya bagi kehidupan manusia. Batas kekeruhan menurut WHO yaitu 2,5 NTU, sedangkan menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yang menetapkan kekeruhan air sebesar  $\leq 25$  NTU.

Menurut Martins *et al* (2017) kekeruhan adalah ukuran relatif dari tingkat kecerahan di suatu badan air, yang menggambarkan sifat optik yang menyebabkan cahaya terhambur dan diserap oleh partikel-partikel yang tersuspensi di dalamnya. Kekeruhan berhubungan dengan total padatan tersuspensi (TSS) dalam limbah cair, yang mengacu pada massa partikel dalam fluida. Selama pemantauan kualitas air, turbiditas adalah salah satu parameter penting untuk mengklasifikasikan kualitas perairan, berfungsi sebagai indikator adanya pencemaran dan kinerja perairan tersebut. Tingkat kekeruhan air dapat mengurangi penetrasi cahaya ke dalam badan air yang

diperlukan untuk proses fotosintesis fitoplankton (Rahman *et al.*, 2021).

## 5. Fosfat

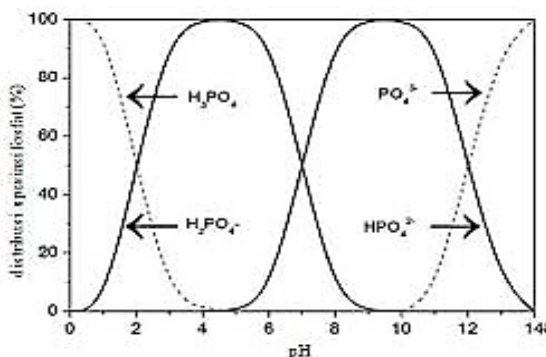
Unsur fosfor merupakan salah satu makro nutrisi yang sangat berperan dalam proses pertumbuhan dan metabolisme bagi organisme perairan dan menjadi faktor pembatas pertumbuhan dari fitoplankton. Di alam bebas, unsur fosfor murni dalam bentuk P sangat jarang ditemukan. Umumnya ditemukan dalam bentuk persenyawaan bersama dengan unsur yang lainnya. Keberadaan ion fosfat di perairan dapat ditemukan dalam bentuk yang terlarut atau terserap oleh partikel yang lain (Sari *et al.*, 2022). Peranan fosfat yang terdapat pada sedimen di sungai ataupun muara sungai yaitu sebagai unsur yang berperan dalam pertumbuhan dan kelangsungan hidup organisme di dalamnya yang ikut dalam rantai makanan ekosistem perairan. Pengujian kadar fosfat dilakukan karena merupakan salah satu parameter tingkat kesuburan suatu perairan (Arizuna *et al.*, 2014).

Fosfat yang berada di perairan bebas biasanya ditemukan dalam bentuk ortofosfat, polifosfat, dan fosfat organik. Keberadaan senyawa fosfat di dalam

perairan sangat mempengaruhi keseimbangan kehidupan perairan. Apabila kadar suatu fosfat rendah maka pertumbuhan tanaman akuatik dan ganggang akan terhambat (oligotrop) dan jika kadar fosfat di dalam air sangat tinggi maka pertumbuhan tanaman akuatik dan ganggang akan tidak terkendali (eutrop) sehingga dapat menurunkan kadar oksigen terlarut di dalam air (Listantia, 2020).

Menurut Adawiah *et al* (2020) di alam ortofosfat hadir dalam beberapa bentuk, seperti asam fosfat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), ion dihidrogen fosfat ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), ion hidrogen fosfat ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ), dan ion fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Berdasarkan Gambar 2.3, terlihat bahwa pada pH kurang dari 2 (sangat asam), bentuk yang dominan adalah  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Pada pH antara 2 hingga 12, ion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  dan  $\text{HPO}_4^{2-}$  lebih dominan, sedangkan pada pH lebih dari 12 (sangat basa), ion  $\text{PO}_4^{3-}$  menjadi yang paling banyak. Ion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  mendominasi pada pH kurang dari 7, sementara ion  $\text{HPO}_4^{2-}$  lebih banyak hadir pada pH antara 7 hingga 12.

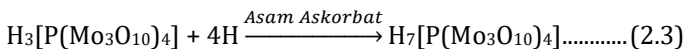
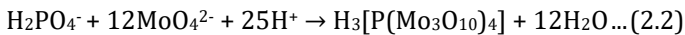
Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 kadar fosfat maksimal adalah 0,2 ppm untuk kategori air kelas 1 dan 2, serta 1,0 ppm untuk kategori kelas 3.



Gambar 2. 3 Spesiasi Fosfat Di Berbagai Rentang pH

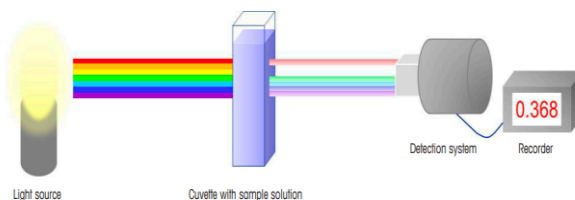
Prinsip pengujian kadar total fosfat sesuai dengan SNI 6989-31:2021, senyawa fosfor yang ada di dalam sampel didestruksi oleh larutan peroksodisulfat menjadi senyawa ortofosfat sesuai dengan persamaan 2.1. Dalam suasana asam, ortofosfat akan bereaksi dengan ammonium molibdat dan kalium antimonil tartrat dan akan membentuk senyawa asam fosfomolibdat dan akan direduksi oleh asam askorbat menjadi senyawa kompleks biru molibden yang dapat dilihat pada Persamaan 2.2. Setelahnya larutan siap untuk diuji menggunakan spektrofotometer sinar tampak pada panjang gelombang 880 nm ([BSN] Badan Standarisasi Nasional, 2021).

Reaksi pembentukan kompleks biru molibden sebagai berikut:



## 6. Spektrofotometer *UV-Visible*

Menurut Toledo (2021) Spektrofotometri UV-VIS merupakan suatu teknik pengukuran dimana pencatatan spektrum serapan berbeda-beda sampel menggunakan sinar *ultraviolet* (UV) dan cahaya tampak (VIS) diperoleh dengan spektrofotometer, yaitu instrumen yang mampu untuk mengukur spektrum sampel dalam rentang UV-VIS. Gambar 2.4 menjelaskan tentang mekanisme kerja dari spektrofotometer UV-VIS. Instrumen ini mengukur intensitas cahaya yang melewati larutan sampel dalam kuvet, dan membandingkannya dengan intensitas cahaya sebelum melewati sampel. Komponen utama UV-VIS spektrofotometer adalah sumber cahaya, tempat sampel, alat pendispersi untuk memisahkan panjang gelombang yang berbeda cahaya (misalnya monokromator), dan detektor yang sesuai.





#### Gambar 2. 4 Mekanisme Kerja Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis ini digunakan untuk mengukur banyaknya kadar senyawa kimia tertentu pada suatu zat yang diukur melalui banyaknya absorptansi yang diserap oleh sampel dan banyaknya cahaya yang melewati sampel. Spektrofotometer mempunyai dua alat yaitu spektrometer yang akan menghasilkan gelombang dengan panjang tertentu dan fotometer yang digunakan untuk mengukur banyaknya intensitas cahaya yang diserap.

Berdasarkan arah datangnya berkas cahaya, spektrofotometer ini dibagi menjadi dua yaitu *single beam* dan *double beam*. *Single beam* disusun secara tunggal dan dibutuhkan standar referensi untuk mengukur intensitas cahaya sebelum dan sesudah sampel dimasukkan. Sedangkan *double beam* mempunyai dua berkas cahaya yang melewati monokromator. Berkas cahaya yang satu digunakan untuk sampel, dan berkas cahaya yang lain digunakan untuk referensi standar. Pembacaan keduanya akan berlangsung secara bersamaan sehingga pengukurannya menjadi independen (Mubarok, 2021)

## 7. *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

*Fourier Transform Infrared* adalah teknik spektroskopi inframerah yang menggunakan transformasi Fourier untuk mendeteksi dan menganalisis spektrum yang dihasilkan (Sanjiwani *et al.*, 2020). Spektrofotometer inframerah adalah alat yang digunakan untuk mengukur penyerapan radiasi inframerah pada berbagai panjang gelombang (Fessenden & Fessenden, 1982). Radiasi inframerah berada di spektrum elektromagnetik antara daerah tampak dan gelombang mikro. Alat ini paling sering digunakan dalam kimia organik dengan bilangan gelombang antara  $4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$ . Spektrum vibrasi terlihat dalam bentuk pita. Terdapat dua jenis vibrasi molekuler, yaitu stretching dan bending. Hanya vibrasi yang menyebabkan perubahan ritmis pada momen dipol yang dapat diamati dalam spektroskopi IR (Silverstein *et al.*, 2005).

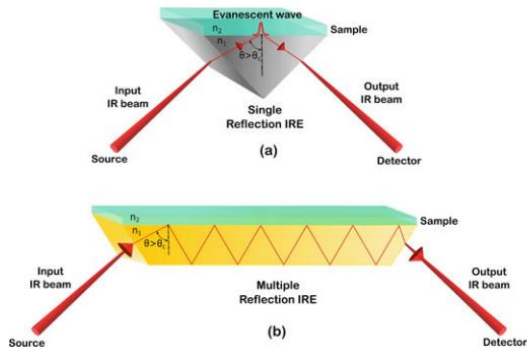
Spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infrared*) adalah teknik analitik yang sangat efektif untuk mengidentifikasi struktur molekul suatu senyawa. Komponen utama dalam spektroskopi FTIR adalah *interferometer Michelson*, yang berfungsi memecah radiasi inframerah menjadi komponen

frekuensinya. Penggunaan *interferometer Michelson* memberikan keunggulan FTIR dibandingkan dengan spektroskopi inframerah konvensional maupun metode spektroskopi lainnya. Salah satu keunggulannya adalah kemampuan untuk memberikan informasi struktur molekul secara tepat dan akurat (resolusi tinggi). Selain itu, metode ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi sampel dalam berbagai fase (gas, padat, atau cair). Kesulitan yang muncul dalam identifikasi menggunakan FTIR dapat dilengkapi dengan data dari metode spektroskopi lain (Sankari, 2010).

Salah satu teknik dalam IR yaitu teknik ATR (*Attenuated Total Reflection*) yang bekerja berdasarkan fenomena refleksi internal total (TIR) menggunakan kristal ATR (IRE) yang memiliki kerapatan optik tinggi dan bersentuhan langsung dengan sampel. Pada Gambar 2.5 ditunjukkan diagram optik yang ada pada ATR, sinar IR masuk ke kristal, dipantulkan secara total di sudut lebih besar dari sudut kritis, lalu menghasilkan gelombang evanesen yang menembus sedikit ke dalam sampel (kedalaman penetrasi). Gelombang ini berinteraksi dengan sampel, dan intensitas sinar IR yang kembali akan berkurang

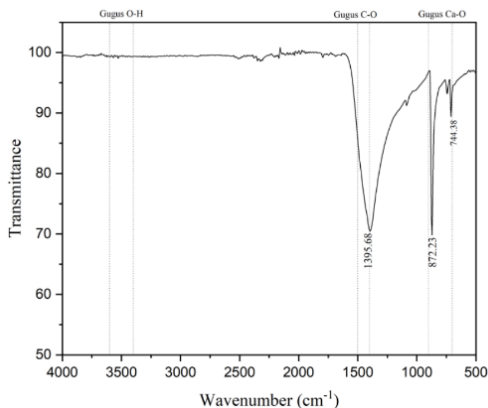
tergantung komposisi dan morfologi sampel, lalu direkam oleh detektor (Kaur *et al.*, 2021).

Kaur *et al* (2021) juga menjelaskan bahwa ATR biasanya menggunakan susunan optik kompleks untuk memfokuskan dan mengarahkan sinar, serta menyesuaikan jalur cahaya dalam aksesoris. Terdapat dua konfigurasi utama: vertikal dan horizontal, dengan konfigurasi horizontal lebih umum digunakan karena cocok untuk berbagai jenis sampel, baik padat maupun cair. Aksesoris ATR dapat dilengkapi dengan berbagai jenisudukan sampel, seperti pelat datar untuk sampel padat, kristal berlekuk (*trough*) untuk cairan atau padatan, serta *flow cell* untuk aliran cairan yang dikendalikan suhu dan laju alirannya. Semua jenisudukan ini dapat dipasang pada ATR horizontal.



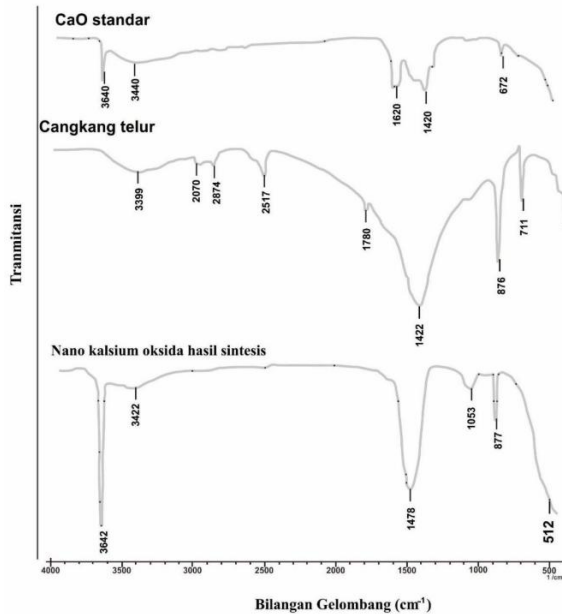
Gambar 2. 5 Diagram sinar optik pada spektrometer ATR-FTIR:  
 (a) Geometri pantulan tunggal, dan  
 (b) Geometri pantulan ganda dari elemen refleksi internal (IRE)  
 (Sumber: Kaur *et al* (2021))

Pengoperasian FTIR memiliki perbedaan dengan spektrofotometer inframerah. Pada FTIR, digunakan interferometer Michelson sebagai pengganti monokromator yang biasanya berada di depan monokromator. Interferometer ini menghasilkan sinyal ke detektor berdasarkan intensitas frekuensi getaran molekul dalam bentuk interferogram (Khopkar, 2008).



Gambar 2. 6 Spektrum FTIR  $\text{CaCO}_3$   
(Sumber: (Putra *et al.*, 2024))

Gambar 2.6 menunjukkan spektrum FTIR dari  $\text{CaCO}_3$  menampilkan puncak pada bilangan gelombang  $1395,68 \text{ cm}^{-1}$  ( $\nu_3$ ),  $872,23 \text{ cm}^{-1}$  ( $\nu_2$ ), dan  $744,38 \text{ cm}^{-1}$  ( $\nu_4$ ). Puncak pada  $1395,68 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya getaran dari gugus C-O dalam  $\text{CaCO}_3$ , sedangkan puncak pada  $872,23 \text{ cm}^{-1}$  dan  $744,38 \text{ cm}^{-1}$  ( $\nu_4$ ) mengindikasikan getaran gugus Ca-O dalam  $\text{CaCO}_3$ .



Gambar 2. 7 Spektrum FTIR CaO  
(Sumber: (Sunardi *et al.*, 2020))

Gambar 2.7 menunjukkan spektrum FTIR dari CaO yang dibuat dari cangkang telur dan CaO standar yang menjelaskan bahwa pada Puncak pada bilangan gelombang  $1477,54 \text{ cm}^{-1}$ ,  $1053,15 \text{ cm}^{-1}$ , dan  $8863,68 \text{ cm}^{-1}$  yang berasal dari ikatan C–O menunjukkan proses karbonasi yang menghasilkan oksida. Selain itu, puncak absorpsi pada  $3421,87 \text{ cm}^{-1}$  terjadi akibat keberadaan ikatan O–H dari molekul air pada permukaan

nanopartikel. Puncak kecil pada  $3421,87\text{ cm}^{-1}$  juga dikaitkan dengan keberadaan  $\text{CO}_2$ . Tidak adanya puncak absorpsi tajam di wilayah  $1415,52\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan bahwa  $\text{CaCO}_3$ , yang merupakan komponen utama kulit telur, telah sepenuhnya dikonversi menjadi  $\text{CaO}$ . Sementara itu, pita kuat pada bilangan gelombang  $512\text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan getaran khas  $\text{Ca-O}$ .

## 8. *X-ray Diffraction (XRD)*

Metode spektrofotometri sinar-X adalah salah satu metode analisis kimia yang menggunakan sinar-X sebagai sumber energi foton. Berdasarkan pada jenis interaksi antara sinar-X dengan analit, metode ini dibagi menjadi spektrofotometri difraksi sinar-X (*X-ray diffraction/ XRD*), fluoresensi sinar-X (*X-ray fluorescence/ XRF*), foto-elektron sinar-X (*X-ray photo-electron spectrophotometry/ XPS*), dan spektrofotometri absorpsi ekstensi sinar-X oleh struktur yang halus (*extended X-ray absorption fine structure spectrophotometry/ EXAFS*) (Mudasir & Tri Wahyuni, 2023).

XRD adalah metode karakterisasi yang memanfaatkan sinar-X yang ditembakkan ke material



untuk menghasilkan spektrum difraksi sinar-X, yang kemudian digunakan untuk menganalisis struktur kristal dan ukuran kristal material melalui penentuan parameter kisi. Data yang diperoleh berupa grafik puncak intensitas, hasil rekaman spektrum difraksi sinar-X yang dideteksi oleh detektor, membentuk pola yang kemudian dianalisis dengan mencocokkan pola difraksi sinar-X dari sampel yang tidak diketahui dengan pola dari sampel yang sudah dikenal, sehingga sampel yang tidak diketahui tersebut dapat diidentifikasi (Ihsan, 2017).

Data dari analisis metode XRD berupa pola difraksi dalam bentuk gambar atau spektra hubungan antara sudut difraksi  $2\theta$  (sumbu horizontal) dengan intensitas (sumbu vertikal). Pola difraksi berupa sejumlah puncak yang muncul pada berbagai sudut  $2\theta$  tertentu pada intensitas tertentu. Suatu kristal mendifraksi sinar X yang sesuai dengan bidang kristal yang dimiliki. Jika ada 4 bidang kristal yang berbeda maka kristal tersebut akan mendifraksi sinar-X dengan 4 sudut difraksi ( $\theta$ ) yang berbeda juga muda (Mudasir & Tri Wahyuni, 2023).

Skema dan prinsip dari alat ini terlihat pada Gambar 2.8, saat sinar-x ditembakkan ke arah sampel,

ia akan terdifraksi ke segala arah sesuai dengan hukum Bragg. detektor yang ada kemudian bergerak dengan kecepatan sudut yang konstan untuk mendeteksi berkas dari sinar X yang didifraksikan oleh sampel. Sampel berupa serbuk atau padatan kristalin mempunyai bidang-bidang kisi yang tersusun secara acak dengan berbagai kemungkinan orientasi, begitu pula partikel-partikel kristal yang terdapat di dalamnya. Setiap kumpulan bidang kisi tersebut memiliki beberapa sudut orientasi sudut tertentu, sehingga difraksi sinar-X memenuhi Hukum Bragg pada Persamaan 2.4.

$$n \lambda = 2 d \sin \theta \dots\dots\dots (2.4)$$

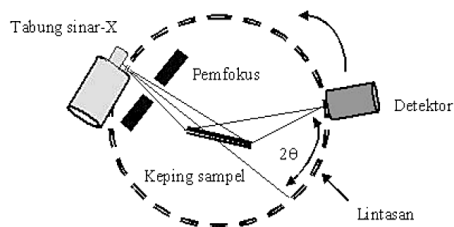
keterangan:

$n$ : orde difraksi (1,2,3, ...)

$\lambda$ : panjang sinar-X

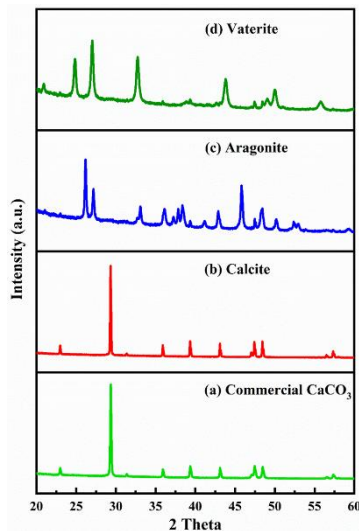
$d$ : jarak kisi

$\theta$ : sudut difraksi



Gambar 2. 8 Mekanisme Kerja XRD

Bentuk keluaran dari difraktometer dapat berupa data analog atau digital. Rekaman data analog berupa grafik garis-garis yang terekam per menit sinkron, dengan detektor dalam sudut  $2\theta$  per menit, sehingga sumbu-x setara dengan sudut  $2\theta$ . Sedangkan rekaman digital menginformasikan intensitas sinar-X terhadap jumlah intensitas cahaya per detik (Jamaludin, 2018).

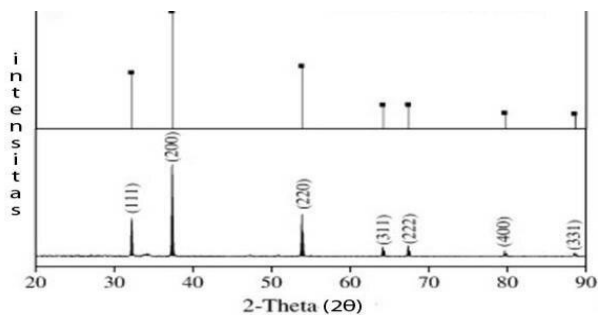


Gambar 2. 9 Difraktogram  $\text{CaCO}_3$  dalam berbagai fasa (Sumber: (Ranjane *et al.*, 2023))

Berdasarkan pada Gambar 2.9, ditunjukkan bahwa  $\text{CaCO}_3$  memiliki berbagai macam fasa, mulai dari vaterit, aragonit dan kalsit. Fasa vaterite merupakan fasa paling metastabil dari  $\text{CaCO}_3$ , memiliki

struktur heksagonal dan sangat mudah berubah menjadi kalsit maupun aragonite bila di dalam air. Fasa  $\text{CaCO}_3$  aragonit memiliki struktur kristal ortorombik dan bersifat metastabil. Umumnya fasa aragonite ini ditemukan dalam lingkungan laut (karang, mutiara dan cangkang moluska). Sedangkan fasa kalsit adalah fasa paling stabil dari  $\text{CaCO}_3$  yang memiliki struktur trigonometri (rombohedral) dan sering digunakan dalam industry seperti semen, kertas, dan sebagainya.

Beberapa sudut difraksi yang dapat menunjukkan keberadaan dari  $\text{CaCO}_3$  adalah  $29,4^\circ$ ;  $39,4^\circ$ ;  $43,2^\circ$ ;  $47,4^\circ$  dan  $48,5^\circ$ .



Gambar 2. 10 Difraktogram XRD CaO

Berdasarkan Gambar, JCPDS no. 37-1497 dapat diketahui bahwa CaO sudut  $2\theta$ :  $34,2^\circ$ ,  $37,3^\circ$ ,  $58,3^\circ$ ,  $64,1^\circ$  dan  $67,3^\circ$ .

## B. Kajian Pustaka

Evi *et al* (2020) telah melakukan penelitian yang membandingkan antara biokoagulan  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{CaO}$  dari limbah cangkang kerang darah untuk penjernihan air tanah terpolusi pada sebuah air sungai Selindung. Penambahan masing-masing koagulan dilakukan pada dosis 0,5 g, 1 g, 1,5 g dan 2 g pada 150 mL sampel dan dilakukan sedimentasi selama 24 jam. Hasil pada penelitian ini menyatakan bahwa penambahan  $\text{CaCO}_3$  dengan dosis belum memiliki efek yang signifikan terhadap penjernihan air. Setelah penambahan  $\text{CaO}$  terjadi peningkatan pada nilai TDS, pH, konduktivitas listrik dan perubahan warna yang signifikan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Rahimah *et al* (2016) bahwa  $\text{CaO}$  lebih baik dalam menurunkan BOD dan COD dalam air limbah *laundry* maupun limbah deterjen buatan dibandingkan dengan *Poly Aluminium Chloride* (PAC). Penggunaan dosis optimum 5 g dari variasi dosis 1 g, 2 g, 3 g, 4 g, dan 5 g dengan kecepatan pengadukan 100 rpm selama 1 menit dan waktu flokulasi 20 menit pada kecepatan 40 rpm menunjukkan bahwa persen penurunan BOD dan COD pada limbah deterjen buatan adalah 12,05% dan 75%, sementara itu pada limbah *laundry* penurunan BOD dan COD mencapai 11,57% dan 78,57%.

Hasil penelitian Marwanto & Mulyati (2022) menunjukkan bahwa biokoagulan dari cangkang telur ayam dengan kandungan  $\text{CaCO}_3$  sebesar 87%-97% yang dipreparasi melalui pemanasan pada suhu  $105^\circ\text{C}$  selama 15 menit, kemudian dilakukan penghalusan dan pengayakan pada ukuran 80 mesh. Hasilnya, dengan menggunakan dosis 10 mg, 20 mg, 30 mg dan 40 mg mampu menurunkan kadar Fe pada air sungai berturut-turut sebesar 75,68%; 84,68%; 88,29% dan 85,59%. Hal ini mengonfirmasi bahwa  $\text{CaCO}_3$  dapat digunakan sebagai biokoagulan dalam pengolahan air.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Prastowo *et al* (2017) mengenai penggunaan  $\text{CaO}$  dari cangkang kerang darah sebagai penjernih air gambut, penelitian ini menjelaskan bahwa  $\text{CaO}$  mudah larut dalam air dan menghasilkan  $\text{Ca(OH)}_2$  yang bersifat basa dan efektif untuk menurunkan kesadahan air, menetralisasi keasaman, mengurangi silika, mangan, fluorida, dan bahan organik, serta menurunkan BOD hingga 50%. Hasilnya jumlah koagulan kulit kerang darah yang terbaik untuk pengolahan air gambut adalah massa 800 mg/L dengan hasil koagulasi dan flokulasi terbaik yaitu pH  $12,41 \pm 0,39$ , kekeruhan  $5,36 \pm 0,09$  NTU, COD  $51,21 \pm 5,50$  mg/L dan BOD  $6,30 \pm 1,78$  mg/L.

Syamsidar *et al* (2017) juga telah melakukan kajian mengenai penggunaan kitin dari cangkang kerang hijau sebagai biokoagulan air sungai berdasarkan parameter COD dan BOD. Hasil terbaik untuk penurunan BOD diperoleh pada variasi II dengan penggunaan koagulan sebesar 50 g/L, kecepatan pengadukan 125 rpm, dan waktu pengendapan 60 menit, yang menghasilkan penurunan BOD hingga 30 mg/L dengan efektivitas 82,4%. Sementara itu, penurunan COD yang paling optimal tercapai pada kondisi penggunaan koagulan 50 g/L, kecepatan pengadukan 150 rpm, dan waktu pengendapan 90 menit, yang menghasilkan penurunan COD sebesar 221 mg/L dengan efektivitas 83,75%.

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan, kandungan kalsium yang ada di dalam cangkang kerang berpotensi untuk digunakan sebagai biokoagulan dalam pengolahan air. Namun, cangkang kerang lainnya belum banyak mengkaji penurunan kadar fosfat di dalam limbah cair *laundry*, sehingga pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan biokoagulan dari cangkang kerang hijau yang diberikan perlakuan pemanasan dengan tingkatan suhu yang berbeda untuk mengetahui pengaruh perubahan fasanya pada penurunan fosfat. Selain itu, penggunaan variasi dosis optimum, optimasi kondisi pH dan waktu

koagulasi pada proses penelitian sebelumnya belum yang dilakukan akan dikaji lebih lanjut pada penelitian ini.

### **C. Hipotesis**

Hipotesis dari penelitian ini yaitu pemanasan dapat berpengaruh pada transformasi fasa dalam suatu material. Fasa yang berbeda akan memiliki kemampuan koagulasi yang berbeda juga. Jika dilakukan pemanasan dengan suhu yang bervariasi pada cangkang kerang hijau maka akan dihasilkan fasa kristal cangkang kerang hijau yang berbeda dan menyebabkan perbedaan performa pada proses koagulasi limbah cair *laundry*. Hal ini disebabkan oleh kemampuan kelarutan yang berbeda pada setiap fasa yang dihasilkan sesuai dengan tingkatan suhu yang digunakan.



## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian dilakukan pada tanggal 1 Desember 2024 sampai dengan 15 Desember 2024 di laboratorium kimia fisika kampus 2 UIN Walisongo Semarang. Penelitian dilanjutkan di laboratorium lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Grobogan pada tanggal 21 Januari 2025 sampai dengan 28 Februari 2025.

#### **B. Alat dan Bahan**

##### **1. Alat**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *muffle furnace*, mortar, gelas beker 250 mL, gelas beker 500 mL, jerigen atau botol polietilen, neraca analitik, batang pengaduk, spatula, *magnetic stirrer*, ayakan 100 *mesh*, cawan krusibel, desikator, pH meter (*HANNA HI 98190*), pipet tetes, pipet volume 25 mL, pipet volume 50 mL, turbidimeter (*Lovibond TB 211 IR*), spektrofotometer UV-Vis (*Magenta Lab Science P8/UQR 200 2003*), spektrofotometer XRD (*Shimadzu XRD-7000*) dan Spektrofotometer FTIR (*BRUKER ALPHA II – T+P*), *Software Match! 4*, *Software Origin Lab*.

## 2. Bahan

Bahan yang digunakan yaitu cangkang kerang hijau (*Perna viridis*), bubuk deterjen dengan merk dagang SO KLIN ANTISEP, larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1 M (PT Smart Lab Indonesia, *Analyzed Grade*),  $\text{NaOH}$  1 M (PT Smart Lab Indonesia, *Analyzed Grade*), akuades, larutan amonium molibdat, larutan asam askorbat 72 g/L (PT Smart Lab Indonesia, *Analyzed Grade*), larutan kalium peroksodisulfat 40 g/L ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ , PT Smart Lab Indonesia, *Analyzed Grade*), kalium dihidrogen fosfat anhidrat ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , PT Smart Lab Indonesia, *Analyzed Grade*) dan kertas saring *Whatman* no. 40.

## C. Prosedur Kerja

### 1. Preparasi Biokoagulan Cangkang Kerang Hijau (*Perna viridis*)

Sampel kerang hijau diperoleh dari penjual ikan di Jl. Raya Beringin, Ngaliyan, kota Semarang. Limbah cangkang kerang hijau dari sisa pengolahan kerang kemudian dibersihkan dan dijemur hingga kering. Setelah itu, cangkang yang telah kering dihancurkan dan diayak dengan ayakan 100 *mesh*. Bubuk cangkang yang sudah halus kemudian dipanaskan pada suhu  $110^\circ\text{C}$ , dikalsinasi pada  $500^\circ\text{C}$  dan  $900^\circ\text{C}$  (Syahputra *et al.*, 2023), masing-masing

selama 3 jam. Setelah proses tersebut, cangkang didinginkan lalu dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer FTIR dan XRD.

## **2. Karakterisasi**

### ***a. Fourier Transform InfraRed***

Sampel sebanyak kurang lebih 1 g, digerus menjadi sangat halus dan diletakkan pada kristal tempat sampel secara hati-hati. Bagian kanan alat lalu diputar ke kanan agar sampel menempel pada kristal. Sampel lalu dilakukan pengujian pada rentang bilangan gelombang  $500\text{--}4.000\text{ cm}^{-1}$ .

### ***b. X-Ray Diffraction***

Sampel diambil sebanyak satu sendok kemudian memasukkan ke dalam plat aluminium berukuran  $2 \times 2\text{ cm}$ . Selanjutnya plat aluminium yang berisi sampel dikarakterisasi menggunakan XRD. Kemudian pengambilan data difraksi dilakukan dalam rentang sudut difraksi  $2\theta\ 10^\circ - 80^\circ$  dengan kecepatan baca waktu per detik.

## **3. Preparasi Sampel Limbah Cair Laundry Sintetik**

Limbah cair *laundry* dibuat dengan cara mencampurkan sebanyak 100 g deterjen dengan 20 L air. Selanjutnya diaduk dan dihomogenkan. Setelah itu

dilakukan pengukuran pada turbiditas dan kadar fosfat awalnya.

#### **4. Uji Turbiditas**

Tingkat kekeruhan air diukur menggunakan alat yang disebut turbidimeter, dengan satuan kekeruhan air dinyatakan dalam NTU (*Nephelometric Turbidity Units*). Sampel dimasukkan ke dalam tabung turbidimeter sampai tanda batas. Selanjutnya dimasukkan tabung ke dalam alat lalu ditutup dengan rapat agar cahaya tidak masuk dan diukur.

#### **5. Uji Fosfat**

##### **a. Pembuatan Larutan Standar Fosfat**

##### **1) Larutan induk Fosfat 500 mg PO<sub>4</sub>-P/L**

Sebanyak 2,195 g KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> dipanaskan pada temperatur 105 °C ± 2 °C selama 2 jam dan didiamkan dalam desikator. Selanjutnya dilarutkan dengan 100 mL akuades dalam labu ukur 1.000 mL, kemudian diencerkan sampai tepat tanda tera dan homogenkan.

##### **2) Pembuatan larutan baku fosfat 50 mg PO<sub>4</sub>-P/L**

Larutan induk 500 ppm pipet sebanyak 10 mL ke dalam labu ukur 100 mL,

ditambahkan akuades lalu tepatkan sampai tanda tera dan homogenkan.

**3) Pembuatan larutan baku fosfat 5 mg PO<sub>4</sub>-P/L**

Larutan induk 50 ppm diambil sebanyak 10 mL dan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL, ditambahkan air bebas mineral lalu tepatkan sampai tanda tera dan homogenkan.

**4) Pembuatan larutan standar fosfat**

Deret larutan standar dibuat dengan 1 (satu) blanko dan minimal 3 (tiga) kadar yang berbeda secara proporsional dan berada pada rentang pengukuran. Deret larutan standar dibuat dengan cara mengencerkan larutan baku 5 ppm berturut-turut sebanyak 0 mL, 2 mL, 4 mL, 6 mL, 8 mL, 10 mL dan 12 mL ke dalam labu ukur 50 mL untuk memperoleh deret larutan standar 0 ppm; 0,2 ppm; 0,4 ppm; 0,6 ppm; 0,8 ppm; 1,0 ppm dan 1,2 ppm.

**b. Destruksi Sampel**

Pengujian kadar fosfat pada sampel sesuai dengan SNI 6989-31: 2021 mengenai cara uji kadar ortofosfat dan total fosfor menggunakan

spektrofotometer dengan reduksi asam askorbat. Pengujian diawali dengan proses destruksi sampel menggunakan larutan kalium peroksodisulfat. Sampel yang akan diuji digojog terlebih dahulu agar homogen.

Sebanyak 50 mL sampel dan larutan standar yang sudah dibuat dimasukan ke dalam labu erlenmeyer dan tambahkan 10 mL larutan kalium peroksodisulfat lalu tutup dengan corong gelas dan dididihkan secara hati-hati di atas *hot plate* sampai volume larutan mencapai 10 mL, kemudian dinginkan dan dipindahkan hasil pengerjaan ke dalam labu ukur 50 mL. Larutan kemudian diencerkan dengan akuades sampai tanda batas lalu dihomogenkan. Larutan disaring dan ditampung filtratnya.

### **c. Penentuan Kadar Fosfor Total**

Sebanyak 25 mL sampel dan larutan standar yang sudah didestruksi ditambahkan dengan 2 mL larutan campuran amonium molibdat - asam askorbat. Selanjutnya diukur serapan masing-masing larutan dengan alat spektrofotometer pada panjang gelombang 880

nm. Pengukuran dilakukan kurang dari 15 menit setelah penambahan larutan campuran.

## **6. Proses dan Optimasi Koagulasi**

Optimasi dilakukan pada proses koagulasi untuk menentukan pH, dosis koagulan dan waktu pengadukan yang maksimal.

### **a. Optimasi pH**

Optimasi pH dilakukan sebanyak dua kali atau duplo dengan cara mengatur alkalinitas sampel pada pH 2, 7 dan 12 menggunakan larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1 M atau NaOH 1 M. Selain itu juga dilakukan optimasi pada pH terukur (tanpa diatur alkalinitasnya). Sebanyak 150 mL sampel limbah cair *laundry* ditambahkan dengan agen koagulan CaO sebanyak 1 gram. Selanjutnya dilakukan pengadukan cepat 100 rpm selama 1 menit, lalu dilakukan proses flokulasi melalui pengadukan lambat 40 rpm selama 20 menit sampai terbentuk flok. Larutan diendapkan atau dilakukan sedimentasi selama 30 menit. Flok yang terbentuk kemudian dipisahkan dengan cara disaring dan dilakukan pengujian kekeruhan serta fosfat pada filtrat untuk mengetahui pH optimum dari proses koagulasi.

### **b. Optimasi Dosis Koagulan**

Setelah diperoleh pH optimum, dilakukan optimasi pada dosis koagulan secara duplo. pH sampel diatur sesuai dengan pH optimum yang diperoleh, setelah itu ditambahkan variasi dosis koagulan 0,5; 1,0; 1,5; dan 2,0 g. Selanjutnya dilakukan pengadukan cepat 100 rpm selama 1 menit, lalu dilakukan proses flokulasi melalui pengadukan lambat 40 rpm selama 20 menit sampai terbentuk flok. Larutan diendapkan atau dilakukan sedimentasi selama 30 menit. Flok yang terbentuk kemudian dipisahkan dengan cara disaring dan dilakukan pengujian kekeruhan serta fosfat pada filtrat untuk mengetahui dosis optimum dari agen koagulan.

### **c. Optimasi Waktu Koagulasi**

Setelah diperoleh dosis koagulan optimum, dilakukan optimasi pada waktu pengadukan koagulasi sebanyak dua kali pengulangan. Sampel diatur sesuai pH dan dosis koagulan optimum yang diperoleh, Selanjutnya dilakukan pengadukan cepat 100 rpm selama 1 menit, 2 menit dan 3 menit lalu dilakukan proses flokulasi melalui pengadukan lambat 40 rpm



selama 20 menit sampai terbentuk flok. Larutan diendapkan atau dilakukan sedimentasi selama 30 menit. Flok yang terbentuk kemudian dipisahkan dengan cara disaring dan dilakukan pengujian kekeruhan serta fosfat pada filtrat untuk mengetahui waktu pengadukan yang optimum dari proses koagulasi

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **A. Preparasi Biokoagulan Cangkang Kerang Hijau (*Perna viridis*)**

Biokoagulan Cangkang Kerang Hijau (CKH) dipreparasi dengan cara mengeringkan limbah cangkang kerang terlebih dahulu untuk mengurangi kadar air sehingga menghambat pertumbuhan mikroorganisme dan meningkatkan daya simpan produk (Arif *et al.*, 2013). Setelah itu, cangkang dihaluskan menggunakan blender dan diayak ukuran 100 *mesh*. Proses ini bertujuan untuk menyamakan ukuran dari serbuk cangkang kerang, dan mampu meningkatkan luas permukaan koagulan. Selain itu, proses ini juga bisa menghilangkan kotoran yang masih ada, seperti lapisan hijau pada cangkang kerang hijau, kotoran, dan lain-lain. Cangkang kerang hijau yang sudah berukuran 100 *mesh* berwarna putih dengan bintik-bintik hitam dari kulit luar cangkang. Sampel yang sudah halus kemudian dipanaskan dalam tiga tingkat suhu yang berbeda yaitu 110°C, 500°C dan 900°C. Tingkatan suhu yang berbeda ini dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap hasil koagulasi dari limbah cair *laundry* berdasarkan parameter turbiditas dan kadar fosfat.

Pada suhu 110°C, Cangkang Kerang Hijau 1 (CKH-1) mengalami pengeringan (dehidrasi), tekstur dari serbuk cangkang menjadi lebih halus. Pada suhu ini belum terjadi perubahan warna yang signifikan, warna sampel masih putih sesuai dengan Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Sampel CKH-1

Pada suhu kalsinasi 500°C, Cangkang Kerang Hijau 5 (CKH-5) terjadi perubahan warna dari putih menjadi abu-abu yang menandakan bahwa proses karbonasi belum selesai (Razali et al., 2021). Di suhu ini, mulai mengalami sedikit dekomposisi  $\text{CaCO}_3$  menjadi  $\text{CaO}$  namun belum maksimal sehingga masih terdapat kandungan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) yang menyebabkan warna CKH-5 berwarna abu-abu (Rifai & Widiarti, 2024) yang ditunjukkan oleh Gambar 4.2.



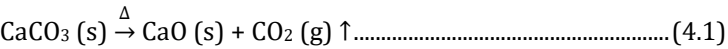
Gambar 4. 2 Sampel CKH-5

Pada suhu kalsinasi yang lebih tinggi yaitu  $900^{\circ}\text{C}$ , Cangkang Kerang Hijau 9 (CKH-9) yang mempunyai  $\text{CaCO}_3$  dengan struktur aragonit terdekomposisi menjadi  $\text{CaO}$ . Proses suhu ini  $\text{CO}_2$  dilepaskan ke atmosfer, karbon organik hampir terdekomposisi semuanya sehingga menyebabkan warna abu-abu berubah menjadi warna putih seperti dalam Gambar 4.3 dengan tekstur yang lebih padat. Sampel menjadi putih dan cenderung keras atau tidak mudah hancur.



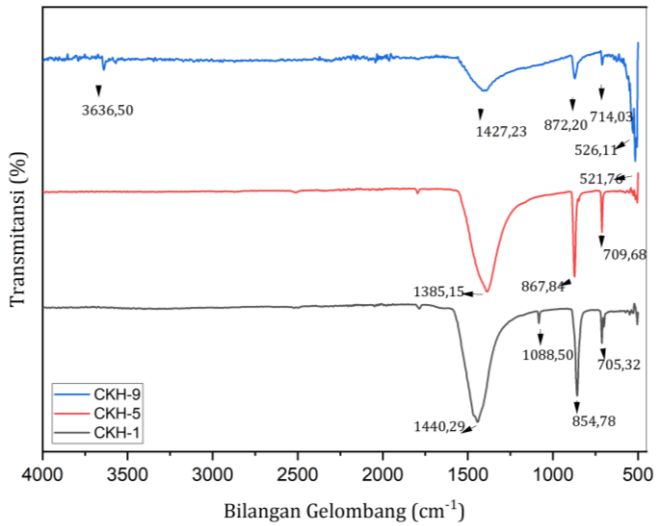
Gambar 4. 3 Sampel CKH-9

Warna putih ini menandakan bahwa CaO telah terbentuk sesuai dengan ciri sifat fisik CaO yang dituliskan oleh Komis *et al* (2024) bahwa secara fisik CaO berwarna putih atau putih sedikit abu-abu. Pada CKH-9 ini telah terjadi proses dekomposisi sesuai dengan persamaan reaksi 4.1.

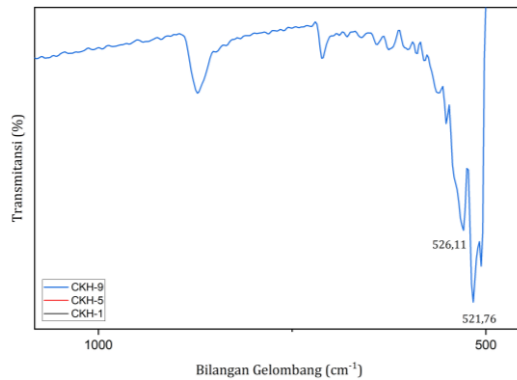


**B. Karakterisasi FTIR Biokoagulan Cangkang Kerang Hijau (*Perna viridis*)**

Spektrofotometer inframerah adalah alat yang digunakan untuk mengukur penyerapan radiasi inframerah pada berbagai bilangan gelombang (Fessenden & Fessenden, 1982). Hasil karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) menunjukkan bahwa cangkang kerang hijau yang dikalsinasi pada tingkatan suhu yang berbeda mempunyai perbedaan pada gugus fungsinya yang dapat dilihat pada Gambar 4.4.



(a)



(b)

Gambar 4. 4 (a) Hasil Karakterisasi FTIR Cangkang Kerang Hijau (CKH) di Berbagai Rentang Suhu (b) Bilangan gelombang dari getaran pita Ca-O

Berdasarkan hasil pada Gambar 4.4 dapat dilihat jika telah terjadi perubahan gugus fungsi pada ketiga sampel yang dikalsinasi pada rentang suhu berbeda. Sampel CKH-1 pada grafik warna hitam menunjukkan puncak di bilangan gelombang  $1440,29\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya gugus fungsi C-O dari  $\text{CaCO}_3$  (Resaldi *et al.*, 2020), setelah dinaikkan suhu kalsinasinya pada CKH-5 yang ditunjukkan dengan grafik warna merah terjadi pergeseran bilangan gelombang menjadi  $1385,15\text{ cm}^{-1}$  namun masih merupakan gugus C-O (Putra *et al.*, 2024) tetapi terjadi saat ada perubahan struktur kristal  $\text{CaCO}_3$  yang awalnya aragonit menjadi kalsit. Sementara itu pada CKH-9 di grafik yang berwarna biru masih menunjukkan adanya puncak dengan transmitansi rendah di bilangan gelombang  $1427,23\text{ cm}^{-1}$  yang artinya pada suhu ini masih terdapat gugus C-O dari  $\text{CaCO}_3$  dalam jumlah sedikit.

Puncak yang tajam juga ditemui pada CKH-1 dan CKH-5 di bilangan gelombang  $854,78\text{ cm}^{-1}$  dan  $867,84\text{ cm}^{-1}$ . Hal ini menjelaskan bahwa terjadi vibrasi oleh gugus Ca-O pada  $\text{CaCO}_3$  di rentang bilangan gelombang  $700 - 875\text{ cm}^{-1}$  (Putra *et al.*, 2024). Keadaan yang sama juga terjadi pada CKH-9, namun dengan intensitas yang lebih rendah sehingga dapat diartikan bahwa  $\text{CaCO}_3$  pada suhu  $900^\circ\text{C}$

masih sedikit. Selain itu, teramati satu puncak kecil pada CKH-1 di bilangan gelombang  $1088,50\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan keberadaan gugus karbonat dalam cangkang kerang yang masih berada dalam fase vaterit (Yuliatun *et al.*, 2023).

Pada CKH-9 dikonfirmasi telah terbentuk CaO (kalsium oksida) yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 (b) adanya puncak pada bilangan gelombang  $521,76\text{ cm}^{-1}$  dan  $526,11\text{ cm}^{-1}$  akibat adanya getaran dari pita Ca-O (Sunardi *et al.*, 2020). Sementara itu, juga ditemukan adanya puncak kecil dan sempit pada bilangan gelombang  $3636,50\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya gugus O-H dari CaO yang terhidrasi di udara sehingga membentuk  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (Komis *et al.*, 2024), namun karena bentuknya yang sempit dan kecil sering kali dikaitkan dengan adanya  $\text{CO}_2$  (Darezereshki, 2010).

### **C. Karakterisasi XRD Biokoagulan Cangkang Kerang Hijau (*Perna viridis*)**

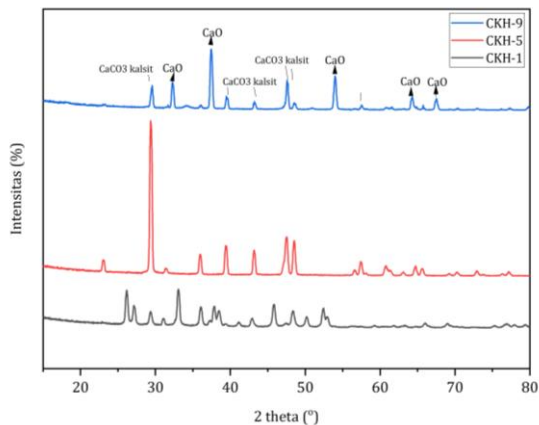
XRD (*X-Ray Diffraction*) adalah metode karakterisasi yang memanfaatkan sinar-X yang ditembakkan ke material untuk menghasilkan spektrum difraksi sinar-X, yang kemudian digunakan untuk menganalisis struktur kristal dan ukuran kristal material melalui penentuan parameter kisi. Data yang diperoleh



berupa grafik puncak intensitas yang kemudian dianalisis dengan mencocokkan pola difraksi sinar-X dari sampel yang tidak diketahui dengan pola dari sampel yang sudah dikenal (standar) (Ihsan, 2017).

Data dari analisis metode XRD berupa pola difraksi dalam bentuk gambar atau spektra hubungan antara sudut difraksi  $2\theta$  (sumbu horizontal) dengan intensitas (sumbu vertikal). Pola difraksi berupa sejumlah puncak yang muncul pada berbagai sudut  $2\theta$  tertentu pada intensitas tertentu (Mudasir & Tri Wahyuni, 2023).

Hasil karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) mengonfirmasi bahwa telah terjadi perubahan struktur dan fasa kristal pada masing-masing variasi suhu sesuai Gambar 4.5 berikut:



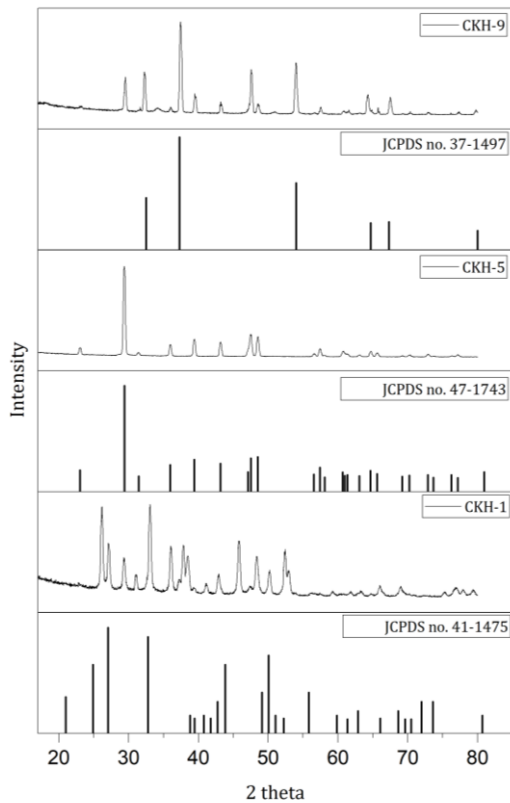
Gambar 4. 5 Hasil Karakterisasi XRD Canggang Kerang Hijau (CKH) di Berbagai Rentang Suhu

Difraktogram Gambar 4.5 menunjukkan bahwa puncak dan intensitas CKH-1 tidak teratur. Hasil analisa fasa menggunakan *software Match!* pada Lampiran 1 melaporkan bahwa CKH-1 memiliki fasa aragonit dengan sistem kristal ortorombik. Fasa aragonit merupakan fasa metastabil dari  $\text{CaCO}_3$  yang mampu bertransformasi ke dalam bentuk yang lebih stabil nanti (kalsit) (Putri, 2016). Menurut Tone & Koga (2021) fasa aragonit ini tersedia secara alami yang dapat ditemukan hampir di semua cangkang moluska dan jika terdekomposisi lebih lanjut akan berubah menjadi kalsit. Pernyataan ini sejalan dengan perubahan fasa pada CKH-5 dan hampir memenuhi standar sesuai dengan JCPDS no. 41-1475 pada Gambar 4.6.

Sampel CKH-5 menunjukkan adanya perubahan fasa dari aragonit menjadi kalsit. Perubahan fasa aragonit menjadi kalsit terjadi pada suhu 380 – 470°C, sementara fasa vaterit kurang stabil pada suhu ini. Setelah dilakukan analisis menggunakan *software Match!* sesuai dengan Lampiran 2, sistem kristal dari CKH-5 ini berubah menjadi trigonal (heksagonal axis). Hal ini dikonfirmasi oleh Mulyaningsih (2018) yang menyatakan bahwa kalsit adalah salah satu dari mineral dengan sistem kristal heksagonal selain kuarsa, korundum, hematit, dolomit dan

apatit. Difraktogram juga menunjukkan adanya kesesuaian pada  $2\theta$  dan intensitasnya sesuai dengan JCPDS no. 47-1743 pada Gambar 4.6.

Pada sampel CKH-9 yang dikalsinasi pada suhu  $900^{\circ}\text{C}$  terlihat bahwa telah terjadi perubahan pada senyawanya yang semula  $\text{CaCO}_3$  menjadi  $\text{CaO}$ . Hal ini dibuktikan dengan adanya puncak pada  $2\theta$   $32,23^{\circ}$ ;  $37,41^{\circ}$ ;  $53,93^{\circ}$ ;  $64,21^{\circ}$ ;  $67,47^{\circ}$  dan  $79,77^{\circ}$  yang bersesuaian dengan JCPDS no. 37-1497 sesuai pada Gambar 4.6. Namun konversi  $\text{CaO}$  pada suhu ini ternyata belum sempurna karena masih terdapat  $\text{CaCO}_3$  dalam fase kalsit di dalamnya dengan intensitas yang rendah. Hal ini dapat disebabkan karena pemanasan belum maksimal atau hanya terjadi pemanasan pada lapisan luar saja.



Gambar 4. 6 Perbandingan Difraktogram Sampel dengan JCPDS

Jika dilihat dari gambar 4.6, sangat jelas bahwa terjadi perubahan fasa dan senyawa pada variasi suhu yang dilakukan. Perubahan fase mulai terjadi pada suhu pemanasan 110°C, di mana struktur kristal aragonit mulai bertransisi menjadi kalsit. Pada cangkang kerang hijau ini,

aragonit terus berubah menjadi kalsit hingga mencapai suhu 500°C. Pada suhu 900°C, kalsit masih ada dalam jumlah yang kecil atau sedikit karena telah terdekomposisi menjadi CaO.

#### **D. Kondisi Awal Sebelum Koagulasi**

Kondisi awal sebelum koagulasi merupakan kondisi pertama kali limbah *laundry* dibuat dan belum diberikan agen koagulan. Kondisi ini dilihat dari tingkat kekeruhan (turbiditas) dan kadar fosfat yang menjadi parameter utama dalam penelitian ini.

Sampel limbah *laundry* sintetik dibuat dari detergen bubuk SO KLIN ANTISEP yang memiliki bahan aktif 21% surfaktan anionik dan 13% agen antibakteri. Sampel dibuat dengan cara melarutkan 100 g detergen ke dalam 20 L air, digojog dan diaduk hingga larut sempurna. Diperoleh limbah *laundry* berwarna biru keunguan, banyak partikel halus berwarna putih melayang-layang, mempunyai busa di permukaan air, dan berbau harum. Selanjutnya, dilakukan pengukuran tingkat kekeruhan (turbiditas) dan kadar fosfat awal sampel limbah *laundry* sintetik seperti terlihat di Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Limbah Cair *Laundry* Sintetik

Turbiditas sampel diukur menggunakan alat turbidimeter. Menurut Lutfi (2019) prinsip kerja turbidimeter adalah dengan mengukur penyerapan cahaya di mana detektor diletakkan pada sudut  $180^\circ$  dari sumber cahaya, dan yang diukur adalah transmisi cahaya yang melewati campuran atau medium tersebut. Hasil menunjukkan bahwa limbah *laundry* sintetik mempunyai turbiditas sebesar 109 NTU. Nilai ini jauh melampaui ambang batas dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yang menetapkan kekeruhan air sebesar  $\leq 25$  NTU.

Sementara itu hasil pengujian fosfat dilakukan sesuai dengan SNI 6989-31:2021 menggunakan spektrofotometer dan prinsip reduksi asam askorbat.

Senyawa fosfor yang ada di dalam sampel akan didestruksi oleh larutan peroksodisulfat menjadi senyawa ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Larutan yang sudah didestruksi lalu ditambahkan dengan larutan campuran amonium molibdat dan asam askorbat. Dalam suasana asam, ortofosfat akan bereaksi dengan amonium molibdat dan kalium antimonil tartrat yang akan membentuk senyawa asam fosfomolibdat dan akan direduksi oleh asam askorbat menjadi senyawa kompleks biru molibden (Badan Standarisasi Nasional, 2021).

Pengujian diawali dengan membuat larutan baku 50 mg  $\text{PO}_4\text{-P/L}$  (50 mg fosfor dalam bentuk ion fosfat per liter larutan) dengan cara mengencerkan 10 mL larutan induk 500 mg  $\text{PO}_4\text{-P/L}$  menjadi 100 mL. Larutan induk 500 mg  $\text{PO}_4\text{-P/L}$  dibuat dengan cara melarutkan 2,195 g padatan  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  ke dalam akuades sebanyak 1 L. Padatan  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  sudah dipanaskan pada suhu  $105^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  selama 2 jam untuk menguapkan kandungan air sehingga dapat memperoleh senyawa anhidrat yang lebih murni.

Larutan baku 50 mg  $\text{PO}_4\text{-P/L}$  kemudian diencerkan kembali untuk membuat larutan baku 5 mg  $\text{PO}_4\text{-P/L}$  yang selanjutnya dibuat larutan standar 0 ppm; 0,2 ppm; 0,4 ppm; 0,6 ppm; 0,8 ppm; 1,0 ppm dan 1,2 ppm.

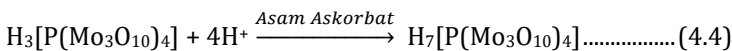
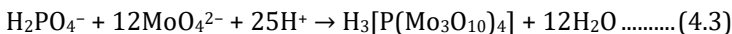
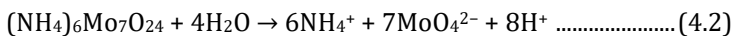
Tahap selanjutnya adalah proses destruksi pada larutan standar dan sampel yang akan diuji.

Proses destruksi ini dilakukan untuk mengubah  $P_2O_5$  menjadi  $PO_4^{3-}$ . Diawali dengan mengambil 50 mL masing-masing larutan standar dan sampel lalu dimasukkan ke dalam erlenmeyer. Setiap larutan ditambahkan masing-masing sebanyak 10 mL larutan kalium peroksodisulfat dan dipanaskan di atas *hot plate* sampai volume larutan menjadi 10 mL. Penambahan larutan peroksodisulfat ini untuk mendestruksi senyawa-senyawa fosfor dalam sampel menjadi ortofosfat ( $PO_4^{3-}$ ). Larutan diencerkan menjadi volume 50 mL kemudian disaring untuk memastikan larutan yang diperoleh tanpa endapan yang dimungkinkan menjadi penghalang dalam proses uji.

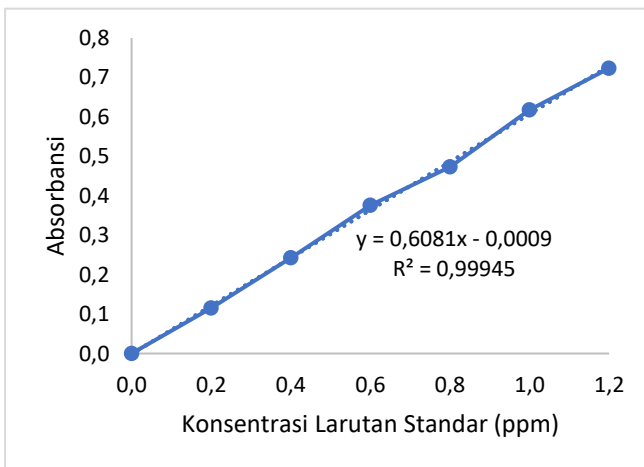
Larutan diambil sebanyak 25 mL larutan dan ditambahkan dengan 2 mL larutan campuran dari amonium molibdat dan asam askorbat. Larutan amonium molibdat dibuat dari heksaamonium heptamolibdat tetrahidrat dan kalium antimonil tartrat yang diberi penambahan asam sulfat. Penambahan asam sulfat ini bertujuan untuk memberikan suasana asam dengan pH yang rendah sehingga dapat mempermudah proses reduksi pada fosfat.



Senyawa amonium molibdat yang mengandung kalium antimonil tartrat akan bereaksi dengan ortofosfat dan membentuk senyawa asam fosfomolibdat dalam suasana asam. Senyawa tersebut direduksi oleh asam askorbat membentuk senyawa kompleks biru molibden atau fosfomolibdenum biru. Semakin tinggi kadar fosfat yang terkandung, maka warna biru juga akan semakin pekat (Suryani *et al.*, 2023). Hal ini sesuai dengan persamaan reaksi berikut:



Diperoleh kurva standar yang disajikan dalam Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Kurva Standar Fosfat

Kurva standar fosfat menghasilkan persamaan garis  $y = 0,6081x - 0,0009$  dengan nilai  $R^2 = 0,99945$ . Pengendalian mutu yang ditetapkan oleh SNI jika koefisien korelasi linear atau  $r$  mempunyai nilai  $\geq 0,995$ . Hasil dari instrumen menunjukkan hasil  $r = 0,99945$  yang artinya kurva sudah memenuhi syarat untuk digunakan.

Hasil pengujian sampel limbah *laundry* menunjukkan bahwa kadar total fosfat adalah sebesar 50,33 ppm. Kadar ini melebihi batas maksimal yang ditetapkan dalam PP RI No. 22 Tahun 2021 di mana kadar fosfat maksimal adalah 0,2 ppm untuk kategori air kelas 1 dan 2, 1,0 ppm untuk kategori kelas 3. Oleh karena itu dilakukan koagulasi pada limbah *laundry* tersebut menggunakan agen koagulan dari cangkang kerang hijau (CKH) untuk mengurangi kekeruhan dan kadar fosfat yang tinggi.

#### **E. Optimasi pH Koagulasi**

Optimasi pH dalam proses koagulasi dilakukan untuk mengetahui kondisi lingkungan terbaik bagi agen koagulan dalam mengikat partikel koloid dari limbah. Selain itu, dengan mengetahui pH optimumnya dapat meminimalisir adanya bahan-bahan yang terbuang.

Optimasi dilakukan pada pH 2, 7, 12 dan pH terukur (tanpa pengaturan pH) yaitu 10,85. Pemilihan pH

ini didasarkan pada spesiasi fosfat yang membentuk persenyawaan yang berbeda pada pH tertentu yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Spesiasi Fosfat dalam Berbagai Rentang pH  
(Adawiah et al., 2020)

pH	Bentuk Fosfat
pH≤2	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
pH 2-7	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
pH 7-12	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
pH≥12	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>

1. Turbiditas

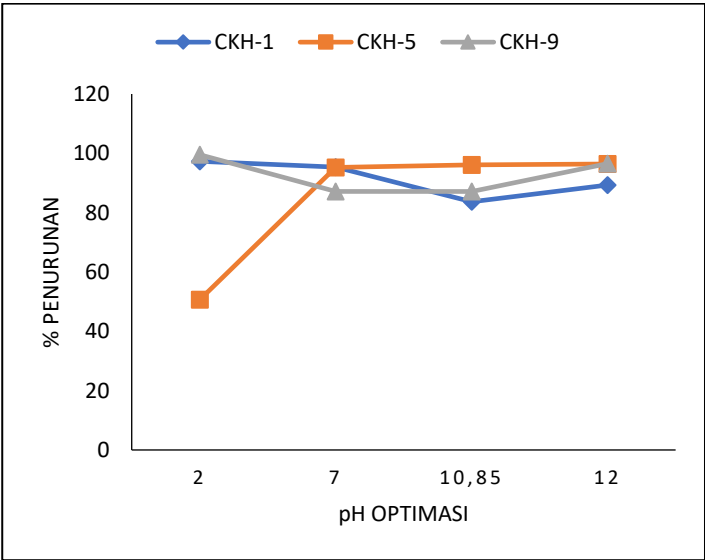
Hasil optimasi pH dalam proses penurunan kekeruhan atau turbiditas menggunakan agen koagulan Cangkang Kerang Hijau (CKH) dengan variasi suhu kalsinasi yang berbeda pada limbah cair *laundry* disajikan dalam Tabel 4.2 di bawah ini:

Tabel 4. 2 Hasil Optimasi pH Pada Penurunan Turbiditas

Agen Koagulan	pH	Turbiditas (NTU)	%Penurunan
CKH-1	2	2,94	97,303
	7	5,04	95,381
	10,85	17,80	83,670
	12	11,60	89,358
CKH-5	2	53,80	50,642
	7	5,23	95,206
	10,85	4,24	96,115

	12	3,92	96,404
	2	0,52	99,528
	7	13,95	87,202
CKH-9	10,85	14,03	87,133
	12	3,72	96,587

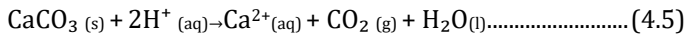
Tabel 4.2 menunjukkan bahwa pH optimum yang menunjukkan % penurunan turbiditas tertinggi dari masing-masing sampel berbeda. Pada Gambar 4.9 ditunjukkan bahwa terjadi penurunan dan kenaikan tren yang ada pada setiap agen koagulan.



Gambar 4. 9 Hasil Optimasi pH Pada %Penurunan Turbiditas

Data yang diperoleh menunjukkan bahwa agen koagulan CKH-1 mempunyai kondisi pH optimum di pH 2 dengan % penurunan mencapai 97,303%. Hal ini

dapat disebabkan oleh sifat  $\text{CaCO}_3$  lebih mudah larut dalam kondisi asam karena bereaksi dengan  $\text{H}^+$  membentuk ion  $\text{Ca}^{2+}$  sesuai dengan persamaan 4.5.



Selain itu aragonit lebih mudah larut dalam air dibandingkan kalsit, terutama dalam pH rendah atau kondisi asam (Arvidson & Morse, 2013). Pada pH asam, ion  $\text{Ca}^{2+}$  dalam larutan dapat menetralkan muatan pada partikel koloid dan mengurangi gaya tolak-menolak antar partikel (Ghernaout & Ghernaout, 2012). Hal ini memungkinkan partikel  $\text{CaCO}_3$  lebih mudah menggumpalkan fosfat dan mengendap sehingga meningkatkan efisiensi koagulasi.

Pada pH 7 (netral), ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{OH}^-$  tersedia dalam jumlah yang sama, hal ini memungkinkan efisiensinya sedikit menurun karena gaya tolak-menolak antar partikel mungkin lebih besar (Saritha *et al.*, 2017). Pada pH 10,85 efisiensi koagulasi turun signifikan hingga 83,670%. Ini bisa terjadi karena keberadaan ion  $\text{OH}^-$  lebih banyak sehingga menyebabkan ion  $\text{Ca}^{2+}$  yang seharusnya berikatan dengan  $\text{HPO}_4^{2-}$  tidak cukup dan terdispersi kembali sehingga mengurangi efektivitas flokulasi. Pada pH 12, terjadi peningkatan efisiensi koagulasi hingga

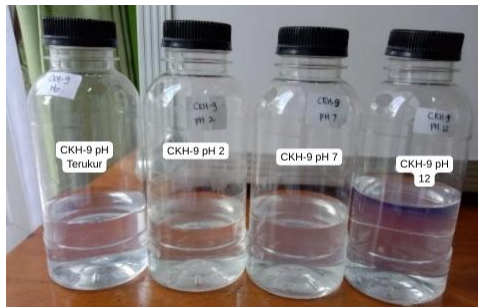
89,350%. Hal ini bisa disebabkan oleh peningkatan presipitasi  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dari  $\text{CaCO}_3$  yang sukar larut dalam air terutama dalam kondisi pH yang terlalu basa. Hal ini memungkinkan untuk mekanisme *sweep flocculation* dapat terjadi sesuai dengan Owodunni & Ismail (2021) bahwa ketika ion  $\text{Ca}^{2+}$  ditambahkan sebagai agen koagulan, partikel bermuatan negatif di dalam limbah seperti surfaktan anionik maupun fosfat akan terbawa dan terjebak sehingga akan mengendap dan dapat dipisahkan. Oleh karena itu, efektivitasnya sedikit naik meskipun belum mencapai efektivitas seperti pada pH asam.

Pada CKH-5 memberikan hasil yang berlawanan dari CKH-1. Data dari Tabel 4.2 menunjukkan % penurunan yang cukup rendah pada pH 2 yaitu 50,647%. Fasa CKH-5 (kalsit) lebih stabil, sehingga pelepasan  $\text{Ca}^{2+}$  lebih lambat (Novianti *et al.*, 2013), yang dapat menyebabkan efektivitas penurunan kekeruhan lebih rendah pada pH asam yaitu sebesar 50,642%. Namun, dalam kondisi yang netral hingga basa tinggi kalsit dapat membentuk  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  yang membantu proses flokulasi. CKH-5 menjadi lebih aktif dalam membentuk flok, sehingga terjadi peningkatan signifikan hingga lebih dari 96%.

Sementara itu di CKH-9 hasilnya menunjukkan bahwa pH 2 merupakan pH optimum yang menurunkan kekeruhan mencapai 99,528%. Nilai ini menjadi berkurang pada pH 7 menjadi 87,202% dan turun lagi pada pH 10,85 sebesar 87,133%. Namun, data menunjukkan kenaikan pada pH 12 dengan nilai sebesar 96,587%.

Pada pH yang asam, CaO mudah larut dengan cepat sehingga menghasilkan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dalam jumlah besar. Keberadaan  $\text{Ca}^{2+}$  akan segera membentuk endapan  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  bersama dengan asam fosfat, memerangkap partikel bermuatan negatif lainnya seperti surfaktan anionik yang kadarnya 21% pada detergen maupun senyawa aktif lainnya yaitu antibakteri. Pelepasan ion  $\text{Ca}^{2+}$  ini sangat tinggi, meningkatkan efektivitas koagulasi-flokulasi karena ion  $\text{Ca}^{2+}$  berperan dalam menetralkan muatan partikel koloid penyebab kekeruhan (Owodunni & Ismail, 2021b). Hasilnya, kekeruhan menurun hingga 99,528%, yang jauh lebih tinggi dibandingkan CKH-5 atau CKH-1 pada pH 2. Pada pH ini pula, perbedaan yang signifikan dapat dilihat melalui mata telanjang, yaitu pada siluet warna yang sudah jernih tanpa ada

warna biru atau ungu dari detergen sesuai dengan Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Hasil Optimasi pH Pada Agen Koagulan CKH-9

Pada pH netral hingga sedikit basa, CaO sudah banyak berubah menjadi  $\text{Ca(OH)}_2$ , tetapi dalam larutan yang tidak terlalu asam, kelarutan  $\text{Ca(OH)}_2$  berkurang (Susanto & Widiadi, 2003). Hal ini menyebabkan pelepasan ion  $\text{Ca}^{2+}$  menurun sehingga kemampuan netralisasi muatan partikel koloid berkurang dan efektivitas flokulasi berkurang yang menyebabkan persentase penurunan kekeruhan turun menjadi 87,202% pada pH 7 dan 87,133% pada pH 10,85. Pada pH 12 (sangat basa) memungkinkan mekanisme *sweep flocculation* berlaku kembali dalam proses flokulasi sehingga efektivitasnya meningkat kembali, menyebabkan turbiditas turun hingga 96,587%.



Optimasi pH ini ditemukan bahwa pada Cangkang Kerang Hijau (CKH) yang dikalsinasi suhu 110°C, 500°C dan 900°C masing-masing menunjukkan hasil yang berbeda. Hasil optimasi menunjukkan bahwa CKH-9 merupakan agen koagulan terbaik untuk menurunkan kekeruhan jika dilakukan pada pH 2. Namun, semua agen koagulan dan rentang pH-nya telah menunjukkan hasil turbiditas akhir yang sudah memenuhi Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yang menetapkan kekeruhan air sebesar  $\leq 25$  NTU.

## 2. Total Fosfat

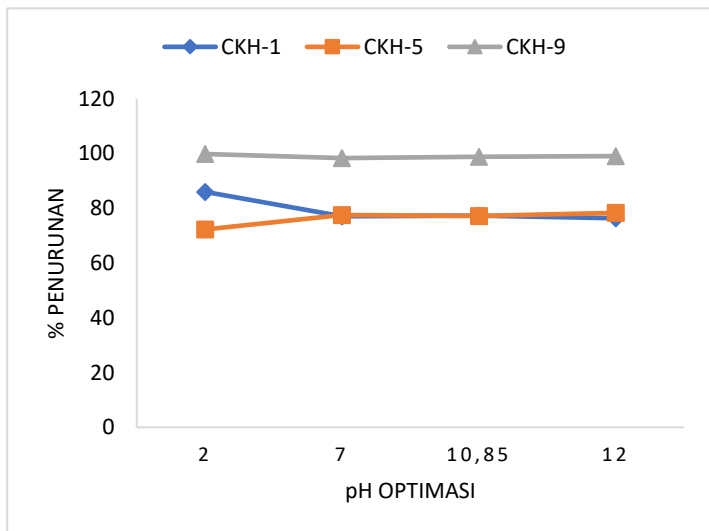
Hasil optimasi pH dalam proses penurunan kadar fosfat menggunakan agen koagulan Cangkang Kerang Hijau (CKH) dengan variasi suhu kalsinasi yang berbeda pada limbah cair *laundry* disajikan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil Optimasi pH Pada Penurunan Kadar Fosfat

Agen Koagulan	pH	Kadar Fosfat (ppm)	% Penurunan
CKH-1	2	7,056	85,982
	7	11,528	77,095
	10,85	11,459	77,233
	12	11,911	76,334

CKH-5	2	13,971	72,242
	7	11,320	77,509
	10,85	11,512	77,128
	12	10,919	78,306
CKH-9	2	0,099	99,803
	7	0,852	98,307
	10,85	0,598	98,812
	12	0,492	99,023

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa pH optimum yang menunjukkan % penurunan fosfat tertinggi dari masing-masing sampel berbeda. Pada Gambar 4.11 ditunjukkan bahwa terjadi penurunan dan kenaikan tren yang ada pada setiap agen koagulan yang digunakan.



Gambar 4. 11 Hasil Optimasi pH Pada %Penurunan Fosfat

CKH-1 menunjukkan efektivitas terbaiknya dalam menurunkan fosfat pada pH 2, dengan penurunan sebesar 85,982%. Ini bisa dijelaskan karena aragonit lebih mudah larut dalam kondisi asam, sehingga lebih banyak ion  $\text{Ca}^{2+}$  yang dilepaskan untuk membantu mengendapkan fosfat. Namun, ketika masuk ke pH netral (pH 7) dan sedikit basa (pH 10,85), efektivitasnya mulai menurun (77,095% dan 77,128%). Kemungkinan karena pada pH ini, aragonit menjadi kurang larut, sehingga tidak bisa melepaskan  $\text{Ca}^{2+}$  sebanyak saat berada di lingkungan asam. Pada pH 12, efektivitasnya justru menjadi yang paling rendah (76,334%). Ini karena aragonit menjadi semakin sulit larut dalam kondisi basa kuat, sehingga reaksi yang membantu menurunkan fosfat menjadi tidak optimal.

Berbeda dengan CKH-1, CKH-5 justru kurang efektif pada pH 2 (72,242%) dibandingkan CKH-1. Hal ini wajar karena kalsit lebih stabil dibandingkan aragonit, sehingga lebih sulit larut dalam kondisi asam (Kim et al., 2022). Pada pH 7 dan pH 10,85, efektivitasnya berubah signifikan (77,509% dan 77,128%), yang menunjukkan bahwa kalsit masih cukup stabil dalam lingkungan ini dan tetap bisa

membantu mengendapkan fosfat meskipun tidak terlalu drastis. Menariknya, efektivitas CKH-5 mencapai angka tertinggi pada pH 12, dengan penurunan fosfat sebesar 78,306%. Ini menunjukkan bahwa dalam kondisi basa, kalsit bisa mulai membentuk  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , yang lebih aktif dalam membantu flokulasi dan pengendapan fosfat.

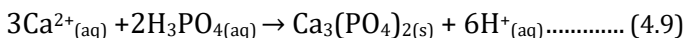
CKH-9 menunjukkan efektivitas yang jauh lebih tinggi dibandingkan CKH-1 dan CKH-5 di semua pH, terutama pada pH 2, di mana kadar fosfat turun hingga 99,803%. Hal ini dapat terjadi karena CKH-9 mengandung  $\text{CaO}$  yang sangat mudah larut pada pH rendah. Dalam kondisi asam, reaksi ini menghasilkan banyak ion  $\text{Ca}^{2+}$ , yang langsung mengikat fosfat khususnya  $\text{H}_3\text{PO}_4$  sesuai dengan spesiasi fosfat yang ada pada  $\text{pH} \leq 2$  dan membentuk endapan yang bisa dengan mudah dipisahkan.

Ketika asam fosfat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) hadir dalam sistem, akan terjadi ionisasi sebagai berikut:



Reaksi 4.9 menunjukkan saat ion  $\text{Ca}^{2+}$  bereaksi dengan ion fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) untuk membentuk  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$

atau kalsium fosfat yang tidak larut (Sinambela *et al.*, 2012), senyawa ini akan berperan dalam presipitasi dalam bentuk partikel kecil yang akan mengendap dan dihilangkan dalam proses filtrasi.



Pada pH 7 dan 10,85, efektivitasnya sedikit menurun (98,307% dan 98,812%), tetapi tetap jauh lebih tinggi dibandingkan CKH-1 dan CKH-5. Ini karena  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  yang terbentuk masih cukup aktif untuk membantu proses pengendapan fosfat. Di pH 12, efektivitasnya kembali meningkat menjadi 99,023%. Ini mirip dengan CKH-5 yaitu mekanisme *sweep flocculation* bekerja dengan maksimal sehingga akan semakin meningkatkan proses flokulasi fosfat.

Berdasarkan hasil optimasi pH yang telah dilakukan, CKH-9 atau cangkang kerang hijau yang dikalsinasi pada suhu 900°C adalah pilihan terbaik untuk semua kondisi pH. Baik itu digunakan untuk menurunkan kekeruhan maupun kadar fosfat pada limbah cair *laundry* sintetik.

Oleh karena itu, agen koagulan CKH-9 ini optimum jika digunakan pada pH 2, dimana penurunan fosfat telah memenuhi Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 yaitu kadar fosfat

maksimal adalah 0,2 ppm untuk kategori air kelas 1 dan 2, serta 1,0 ppm untuk kategori kelas 3. Artinya, hasil koagulasi untuk pH 2 memenuhi kriteria air kelas 1 dan 2 sebagai air baku, peternakan dan perairan jika hanya ditinjau dari parameter fosfat. Namun semua hasil optimasi pH menunjukkan penurunan yang cukup signifikan.

## **F. Optimasi Dosis Koagulan**

Optimasi dosis koagulan dilakukan untuk mengetahui dosis optimum dalam menurunkan tingkat kekeruhan dan kadar fosfat pada limbah cair *laundry* sintetik. Optimasi dosis bukan hanya untuk mencari dosis maksimal, melainkan untuk mencari dosis terbaik guna efisiensi bahan (mencegah pemborosan bahan), mencegah overdosis, menyesuaikan kondisi air limbah hingga mengurangi dampak lingkungan nantinya.

Optimasi dosis ini mengkaji penambahan dosis agen koagulan pada variasi 0,5 g; 1,0 g; 1,5 g dan 2 g.

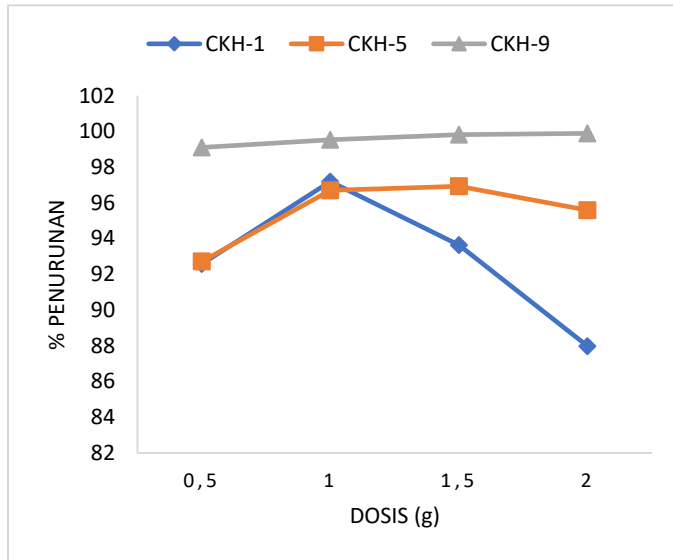
### **1. Turbiditas**

Hasil optimasi dosis dalam proses penurunan kekeruhan atau turbiditas menggunakan agen koagulan Cangkang Kerang Hijau (CKH) dengan variasi suhu kalsinasi yang berbeda pada limbah cair *laundry* disajikan dalam Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Hasil Optimasi Dosis Pada Penurunan Kekeruhan

<b>Agen Koagulan</b>	<b>Dosis (g)</b>	<b>Turbiditas (NTU)</b>	<b>% Penurunan</b>
CKH-1	0,5	8,095	92,573
	1	3,060	97,193
	1,5	6,935	93,638
	2	13,100	87,982
CKH-5	0,5	7,940	92,716
	1	3,605	96,693
	1,5	3,350	96,927
	2	4,810	95,587
CKH-9	0,5	0,980	99,101
	1	0,510	99,532
	1,5	0,195	99,821
	2	0,120	99,890

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa dosis optimum yang menunjukkan % penurunan kekeruhan tertinggi dari masing-masing sampel berbeda. Pada Gambar 4.12 ditunjukkan bahwa terjadi penurunan dan kenaikan tren yang ada pada setiap agen koagulan yang digunakan.



Gambar 4. 12 Hasil Optimasi Dosis Pada %Penurunan Turbiditas

Data menunjukkan bahwa pada CKH-1 dengan menggunakan dosis 0,5 g, mampu menurunkan turbiditas sebesar 92,573%. Persentase ini semakin naik pada dosis 1 g menjadi 97,193% yang menjadikannya sebagai dosis optimum. Namun setelah dosis dinaikkan menjadi 1,5 g efektivitasnya justru turun menjadi 93,638% dan semakin turun pada dosis 2 g menjadi 87,982%.

Pada dosis rendah, jumlah  $\text{Ca}^{2+}$  yang dilepaskan dari CKH-1 cukup untuk membentuk flok



yang efektif. Namun, pada dosis terlalu tinggi, terjadi overdosis koagulan, yang bisa menyebabkan flokulasi berlebihan sehingga partikel yang telah terikat kembali terdispersi dalam larutan (*restabilization effect*), hal ini sejalan dengan pernyataan Abidin et al (2018). Selain itu, kelebihan  $\text{CaCO}_3$  yang tidak larut bisa berkontribusi pada kekeruhan itu sendiri.

Pada CKH-5, penurunan kekeruhan menggunakan dosis 0,5 g mencapai 92,716%, saat dosis dinaikkan menjadi 1 g penurunan turbiditas semakin baik, yaitu 96,693% dan mengalami kenaikan lagi pada dosis 1,5 g menjadi 96,927%, namun persentasenya turun menjadi 95,587% pada dosis 2 g.

Kalsit memiliki kestabilan yang lebih tinggi dibandingkan aragonit, sehingga pelepasan ion  $\text{Ca}^{2+}$  berlangsung lebih lambat dan tidak berlebihan. Namun, pada dosis yang terlalu tinggi, kelebihan koagulan dapat menyebabkan terbentuknya flok yang terlalu besar dan kurang padat, sehingga tidak dapat mengendap secara optimal dan menyebabkan penurunan efektivitas koagulasi (Murdikaningrum *et al.*, 2022).

Pada CKH-9, persen penurunan kekeruhan semakin meningkat seiring dengan penambahan agen

koagulan, pada dosis 0,5 g kekeruhan telah berkurang sebesar 99,101%, dilakukan penambahan dosis 1 g. kekeruhan berkurang lagi 99,532% dan meningkat lagi pada dosis 1,5 g sebesar 99,821% lalu kembali meningkat pada dosis 2 g menjadi 99,890%.

CKH-9 mengandung  $\text{CaO}$ , yang ketika bereaksi dengan air membentuk  $\text{Ca(OH)}_2$ . Senyawa ini larut lebih cepat dan menghasilkan lebih banyak  $\text{Ca}^{2+}$ , yang sangat aktif dalam proses koagulasi. Karena  $\text{CaO}$  sangat reaktif, tidak terjadi efek overdosis seperti pada CKH-1 dan CKH-5. Sebaliknya, semakin banyak  $\text{CaO}$  yang ditambahkan, semakin tinggi ketersediaan  $\text{Ca}^{2+}$ , yang terus meningkatkan efektivitas flokulasi.

Meskipun peningkatan terus terjadi seiring dengan penambahan dosis koagulan, namun peningkatannya tidak memberikan efek yang terlalu signifikan, dalam artian selisih yang terjadi kecil dan kurang berpengaruh. Dalam optimasi dosis, tidak hanya mencari dosis yang memberikan efek maksimal, tetapi juga yang paling efisien untuk efisiensi bahan dan jika efektivitas CKH-9 pada dosis 2 g sudah hampir maksimal (99,890%), maka meningkatkan dosis lebih lanjut tidak lagi *cost-effective*. Dilihat dari nilainya, bahkan dengan hanya menggunakan dosis 0,5 g, agen

koagulan CKH-9 sudah mampu menurunkan kekeruhan dengan sangat baik.

## 2. Fosfat

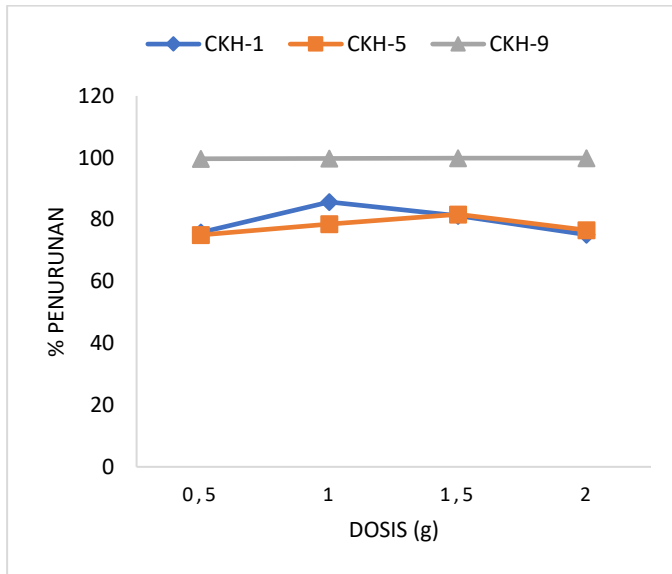
Hasil optimasi dosis dalam proses penurunan kadar fosfat menggunakan agen koagulan Cangkang Kerang Hijau (CKH) dengan variasi suhu kalsinasi yang berbeda pada limbah cair *laundry* disajikan dalam Tabel 4.5 di bawah ini:

Tabel 4. 5 Hasil Optimasi Dosis Pada Penurunan Kekeruhan

Agen Koagulan	Dosis	Kadar Fosfat (ppm)	% Penurunan
CKH-1	0,5	11,658	76,837
	1	7,204	85,686
	1,5	9,439	81,247
	2	12,527	75,111
CKH-5	0,5	12,570	75,025
	1	10,800	78,542
	1,5	9,212	81,697
	2	11,814	76,527
CKH-9	0,5	0,1647	99,673
	1	0,1092	99,783
	1,5	0,0689	99,863
	2	0,0540	99,893

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa dosis optimum yang menunjukkan % penurunan fosfat tertinggi dari masing-masing sampel berbeda. Pada Gambar 4.12

ditunjukkan bahwa terjadi penurunan dan kenaikan tren yang ada pada setiap agen koagulan yang digunakan.



Gambar 4. 13 Hasil Optimasi Dosis Koagulan Pada % Penurunan Kadar Fosfat

Hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap jenis agen koagulan memiliki dosis optimum yang berbeda dalam menurunkan kadar fosfat. Pada CKH-1, efektivitasnya meningkat dari 76,837% pada dosis 0,5 g menjadi 85,686% pada dosis 1 g, yang menunjukkan bahwa ini adalah dosis optimum. Namun, saat dosis ditingkatkan menjadi 1,5 g, efektivitasnya menurun menjadi 81,247%, dan semakin berkurang pada dosis

2 g dengan nilai 75,111%. Penurunan ini dapat terjadi karena kelebihan koagulan dapat menyebabkan agregasi berlebih, sehingga flok yang terbentuk menjadi terlalu besar dan banyak bahan koagulan yang semakin menempel bersama fosfat, hal ini membuat flok rentan hancur dan sulit mengendap secara efektif.

Pada CKH-5, tren yang sama juga terlihat. Penurunan fosfat mulai dari 75,025% pada dosis 0,5 g, meningkat menjadi 78,542% pada dosis 1 g, dan mencapai efektivitas tertinggi pada 1,5 g dengan penurunan 81,697%. Namun, pada dosis 2 g, efektivitasnya kembali menurun menjadi 76,527%. Hal ini mengindikasikan bahwa setelah mencapai dosis optimum, penambahan dosis tidak memberikan keuntungan tambahan dan justru dapat menyebabkan efek saturasi, di mana ion-ion dalam larutan sudah terlalu banyak sehingga koagulasi menjadi kurang efisien.

Jika dilihat, persentase penurunan turbiditas lebih besar dibandingkan persentase penurunan kadar fosfat. Hal ini karena kekeruhan dalam air limbah *laundry* sintetik terutama disebabkan oleh partikel koloid yang bermuatan negatif (contoh: surfaktan anionik sebagai surfaktan dan fosfat) dan tersuspensi

dalam larutan. CKH-1 dan CKH-5 bekerja sebagai koagulan dengan melepaskan ion  $\text{Ca}^{2+}$  ke dalam larutan. Ion ini dapat menetralkan muatan negatif pada partikel tersuspensi, memungkinkan partikel untuk bergabung dan membentuk flok yang lebih besar melalui mekanisme destabilisasi muatan dan agregasi (Owodunni & Ismail, 2021a). Flok yang terbentuk ini kemudian mengendap lebih mudah melalui proses sedimentasi, sehingga menyebabkan penurunan kekeruhan yang signifikan.

Sementara itu, penurunan kadar fosfat terjadi melalui reaksi antara ion fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) dengan ion  $\text{Ca}^{2+}$  untuk membentuk senyawa yang tidak larut seperti kalsium fosfat ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ). Reaksi ini bergantung pada kesetimbangan kelarutan dan pH lingkungan, di mana  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  lebih mudah mengendap pada pH tertentu (biasanya mendekati pH netral hingga basa). Namun, jika jumlah  $\text{Ca}^{2+}$  yang tersedia terbatas atau kondisi larutan tidak mendukung pembentukan endapan yang stabil, tidak semua fosfat dapat diendapkan secara efektif, menyebabkan efisiensi penurunan fosfat lebih rendah dibandingkan dengan penurunan kekeruhan.

Pada CKH-9, efektivitasnya terus meningkat dengan bertambahnya dosis, dari 99,673% pada dosis 0,5 g hingga mencapai 99,893% pada dosis 2 g Berbeda dengan CKH-1 dan CKH-5, CKH-9 memiliki komposisi dominan CaO yang bereaksi cepat dalam kondisi asam, sehingga efektivitasnya tetap tinggi seiring dengan peningkatan dosis. Namun, meskipun persentasenya masih meningkat, penambahan dosis yang lebih tinggi dapat menyebabkan potensi oversaturasi yang dapat mengganggu stabilitas flokulasi dan justru meningkatkan kekeruhan kembali dalam kondisi tertentu. Sehingga sebagai bentuk efisiensi maka dosis dihentikan pada 2 g saja karena meskipun menggunakan dosis terendah yaitu 0,5 g, kadar fosfat yang tersisa sudah berada di bawah ambang batas yang ditentukan pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 yaitu kadar fosfat maksimal adalah 0,2 ppm untuk kategori air kelas 1 dan 2, serta 1,0 ppm untuk kategori kelas 3.

#### **G. Optimasi Waktu Koagulasi**

Optimasi terakhir adalah optimasi waktu koagulasi. Optimasi waktu koagulasi ini dilakukan untuk menentukan durasi yang paling efektif agar partikel tersuspensi dan ion-ion seperti fosfat dapat terkoagulasi

secara maksimal sebelum proses flokulasi dan sedimentasi berlangsung.

Optimasi waktu ini dilakukan pada rentang waktu pengadukan cepat 1 menit, 2 menit dan 3 menit. Hasil penurunan turbiditas dan fosfat adalah sebagai berikut:

1. Turbiditas

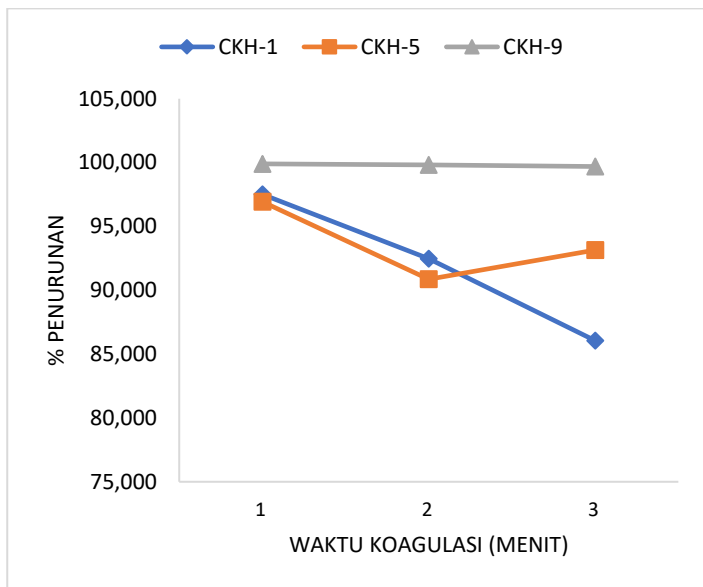
Hasil optimasi waktu koagulasi dalam proses penurunan kekeruhan atau turbiditas menggunakan agen koagulan Canggang Kerang Hijau (CKH) dengan variasi suhu kalsinasi yang berbeda pada limbah cair *laundry* disajikan dalam Tabel 4.6 di bawah ini:

Tabel 4. 6 Hasil Optimasi Waktu Pada Penurunan Kekeruhan

Agen Koagulan	Waktu Koagulasi (menit)	Turbiditas (NTU)	% Penurunan
CKH-1	1	2,72	97,509
	2	8,22	92,463
	3	15,20	86,055
CKH-5	1	3,35	96,931
	2	9,96	90,862
	3	7,46	93,161
CKH-9	1	0,11	99,899
	2	0,21	99,807
	3	0,34	99,693



Tabel 4.6 menunjukkan bahwa waktu optimum yang menunjukkan % penurunan kekeruhan tertinggi dari masing-masing sampel berbeda. Pada Gambar 4.13 ditunjukkan bahwa terjadi penurunan dan kenaikan tren yang ada pada setiap agen koagulan yang digunakan.



Gambar 4. 14 Hasil Optimasi Waktu Koagulasi Pada % Penurunan Turbiditas

Data menunjukkan bahwa pada CKH-1 dengan menggunakan waktu koagulasi 1 menit, mampu menurunkan turbiditas sebesar 97,509%. Persentase ini turun pada waktu koagulasi 2 menit menjadi 92,463% dan semakin turun pada waktu koagulasi 3

menit yaitu 86,055%. CKH-1 sebagai bentuk metastabil dari  $\text{CaCO}_3$  memiliki kelarutan yang lebih tinggi dibandingkan CKH-5, sehingga ion  $\text{Ca}^{2+}$  lebih mudah terdispersi dalam larutan dan dapat dengan cepat menetralkan muatan negatif partikel koloid. Namun, karena CKH-1 tidak mengalami reaksi hidrolisis secepat  $\text{CaO}$  (CKH-9), ion  $\text{Ca}^{2+}$  yang dilepaskan ke dalam larutan tidak dapat terus-menerus mempertahankan efektivitas koagulasi setelah waktu tertentu. Seiring bertambahnya waktu koagulasi, flok yang telah terbentuk dapat mengalami destabilisasi akibat redistribusi muatan permukaan partikel maupun gaya geser dalam larutan, yang menyebabkan terjadinya re-dispersi partikel ke dalam medium. Kondisi ini dapat menyebabkan peningkatan kembali kekeruhan, sehingga waktu koagulasi yang terlalu lama justru dapat menurunkan efisiensi proses (Ahmad et al., 2006; Zouboulis & Traskas, 2005).

Data menunjukkan bahwa pada CKH-5 dengan menggunakan waktu koagulasi 1 menit, mampu menurunkan turbiditas sebesar 96,931%. Persentase ini turun pada waktu koagulasi 2 menit menjadi 90,862% namun nilai ini naik pada waktu koagulasi 3 menit yaitu 93,161%. CKH-1 memiliki kelarutan yang

lebih rendah dibandingkan CKH-5, sehingga pelepasan ion  $\text{Ca}^{2+}$  ke dalam larutan lebih lambat dan proses koagulasi berlangsung lebih stabil pada jangka waktu yang lebih lama. Penurunan pada 2 menit kemungkinan terjadi karena pada tahap awal, flok yang terbentuk masih kecil dan tidak stabil, sehingga beberapa partikel tetap tersuspensi. Peningkatan efektivitas pada 3 menit menunjukkan bahwa setelah waktu tertentu, partikel flok telah berkembang lebih besar dan cukup berat untuk mengalami sedimentasi yang lebih efisien.

Data menunjukkan bahwa pada CKH-9 dengan menggunakan waktu koagulasi 1 menit, mampu menurunkan turbiditas sebesar 99,899%. Persentase ini turun pada waktu koagulasi 2 menit menjadi 99,807% dan semakin turun pada waktu koagulasi 3 menit yaitu 99,693%.  $\text{CaO}$  pada CKH-9 ini bereaksi dengan air membentuk  $\text{Ca(OH)}_2$ , yang kemudian menghasilkan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dalam jumlah besar dengan cepat. Ion  $\text{Ca}^{2+}$  yang dihasilkan dari  $\text{CaO}$  langsung menetralkan muatan negatif partikel koloid dan memicu pembentukan flok dengan cepat. Namun, dalam waktu yang lebih lama, partikel flok dapat mengalami penggabungan berlebihan (*over-*

*flocculation*) atau pecah akibat gaya geser, sehingga efektivitas penurunan kekeruhan sedikit menurun. Hal ini sejalan dengan pernyataan Lelboi *et al* (2024) yang menyebutkan bahwa waktu pengadukan yang melebihi waktu pengadukan optimum, menyebabkan flok yang terbentuk berada pada kondisi jenuh sehingga kemampuan flok untuk menjaring partikel koloid menjadi terbatas. Selain itu, lamanya pengadukan juga dapat meningkatkan gaya geser yang berpotensi merusak struktur flok, sehingga mengurangi efisiensi proses koagulasi. Semakin lama waktu pengadukan menyebabkan penurunan persentase efektivitas koagulasi, flok yang terbentuk akan terurai menjadi partikel kecil yang sulit mengendap.

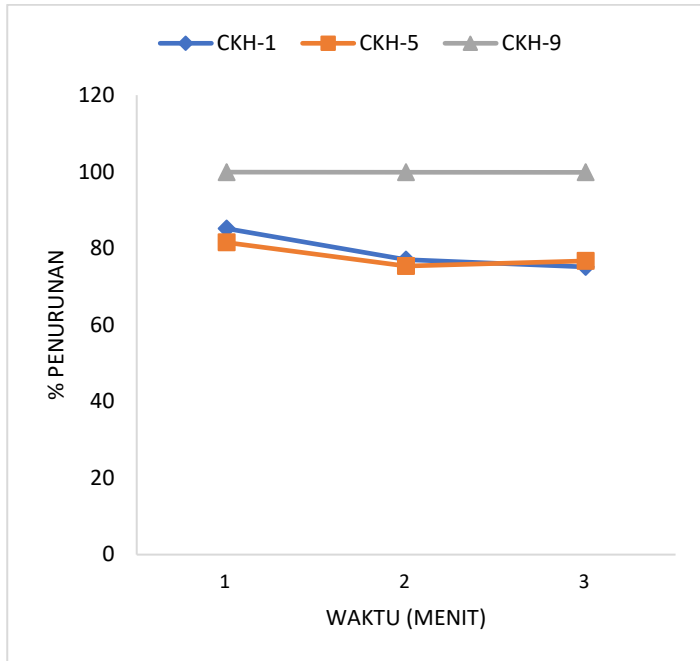
## **2. Total Fosfat**

Hasil optimasi dosis dalam proses penurunan kadar fosfat menggunakan agen koagulan Cangkang Kerang Hijau (CKH) dengan variasi suhu kalsinasi yang berbeda pada limbah cair *laundry* disajikan dalam Tabel 4.7 di bawah ini:

Tabel 4. 7 Hasil Optimasi Waktu pada %Penurunan Turbiditas

<b>Agen Koagulan</b>	<b>Waktu Pengadukan (menit)</b>	<b>Kadar Fosfat (ppm)</b>	<b>% Penurunan</b>
CKH-1	1	7,474	85,151
	2	11,541	77,069
	3	12,516	75,133
CKH-5	1	9,306	81,510
	2	12,399	75,366
	3	11,716	76,723
CKH-9	1	0,0530	99,895
	2	0,0723	99,856
	3	0,0865	99,828

Tabel 4.7 menunjukkan bahwa dosis optimum yang menunjukkan % penurunan fosfat tertinggi dari masing-masing sampel berbeda. Pada Gambar 4.14 Ditunjukkan bahwa terjadi penurunan dan kenaikan tren yang ada pada setiap agen koagulan yang digunakan.



Gambar 4. 15 Hasil Optimasi Waktu Koagulasi Pada % Penurunan Fosfat

Data menunjukkan bahwa pada CKH-1 dengan menggunakan waktu koagulasi 1 menit, mampu menurunkan kadar fosfat sebesar 85,151%. Persentase ini turun pada waktu koagulasi 2 menit menjadi 77,069% dan semakin turun pada waktu 3 menit sebesar 75,133%. CKH-1 memiliki kelarutan lebih tinggi, sehingga ion  $\text{Ca}^{2+}$  lebih cepat terlepas ke dalam larutan dan berinteraksi dengan ion fosfat untuk membentuk endapan  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . Namun, karena laju

pelepasan ion tidak kontinu dan semakin berkurang seiring waktu, efektivitasnya dalam menurunkan kadar fosfat juga menurun. Selain itu, kemungkinan terjadi redistribusi ion fosfat dalam larutan karena flok menjadi terdispersi kembali sehingga efektivitas koagulasi menurun pada waktu yang lebih lama.

Pada CKH-5 dengan menggunakan waktu koagulasi 1 menit, mampu menurunkan kadar fosfat sebesar 81,510%. Persentase ini turun pada waktu koagulasi 2 menit menjadi 75,366% dan naik sedikit pada waktu 3 menit sebesar 76,723%. CKH-5 memiliki kelarutan lebih rendah, sehingga pelepasan ion  $\text{Ca}^{2+}$  ke dalam larutan lebih lambat dan tidak seagresif CKH-1 dalam tahap awal. Penurunan efektivitas pada 2 menit bisa disebabkan oleh belum sempurnanya interaksi antara  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$ , sementara kenaikan pada 3 menit menunjukkan bahwa setelah waktu tertentu, terjadi proses reaksi lanjutan yang memungkinkan terbentuknya lebih banyak  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . Hal ini menunjukkan bahwa CKH-5 membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai efektivitas optimal dibandingkan CKH-1.

Sementara pada CKH-9 dengan menggunakan waktu koagulasi 1 menit, mampu menurunkan kadar

fosfat sebesar 99,895%. Persentase ini turun pada waktu koagulasi 2 menit menjadi 99,856% dan semakin turun pada waktu 3 menit sebesar 99,828%.

CaO mudah dan cepat larut dalam kondisi asam yang kemudian melepaskan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dalam jumlah besar dengan cepat. Ion  $\text{Ca}^{2+}$  segera bereaksi dengan ion  $\text{PO}_4^{3-}$  membentuk  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  yang langsung mengendap sehingga terjadi penurunan kadar fosfat yang sangat signifikan. Penurunan efektivitas pada waktu lebih lama kemungkinan disebabkan oleh terbentuknya endapan berlebih yang dapat menghalangi difusi ion lebih lanjut, atau terlalu lama pengadukan dapat menghancurkan flok yang sudah terbentuk sehingga terjadi pelepasan kembali sebagian kecil ion fosfat ke dalam larutan (El-taweel et al., 2023).

Meskipun demikian, nilai hasil optimasi waktu terhadap kadar fosfat menunjukkan hasil yang baik. Meskipun mengalami penurunan seiring bertambahnya lama waktu pengadukan, tapi angka tersebut sudah sangat baik dan efektif untuk mengurangi kadar fosfat pada limbah cair *laundry* hingga lebih dari 99%.



Setelah semua optimasi dilakukan, dapat diketahui jika cangkang kerang hijau yang dikalsinasi pada suhu  $900^{\circ}\text{C}$  atau CKH-9 adalah agen koagulan yang paling efektif dalam berperan sebagai biokoagulan untuk menurunkan kekeruhan dan kadar fosfat pada limbah cair *laundry* sintetik. Keberhasilan CaO dalam melakukan koagulasi dapat dipengaruhi oleh kemampuan kelarutannya yang lebih baik daripada  $\text{CaCO}_3$ . CaO di dalam larutan sebagai  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  mempunyai Ksp sebesar  $3,5 \times 10^{-5}$  sementara  $\text{CaCO}_3$  mempunyai Ksp sebesar  $3,3 \times 10^{-9}$  (Euler *et al.*, 2000). Jika nilai Ksp rendah maka ia lebih sukar larut yang menyebabkan kelarutan ion-ion di dalam air juga akan sedikit sehingga koagulasi menjadi kurang efektif karena tidak cukup mampu untuk menetralkan partikel koloid dalam limbah.

Jika dilihat dari ukuran ion, CaO memiliki yang lebih kecil daripada ion karbonat, namun ini masih belum cukup untuk mempengaruhi efektivitas koagulasi. Ukuran ion yang lebih kecil bisa memudahkan mobilisasi ion sehingga mampu membentuk agregasi dengan cepat bersama partikel koloid (Tsai *et al.*, 2009). Sementara itu,  $\text{CaCO}_3$  dengan ukuran ion  $\text{CO}_3^{2-}$  yang lebih besar belum bisa membentuk agregasi yang baik karena berpotensi membatasi pelepasan ion  $\text{Ca}^{2+}$  sehingga jumlah ion yang dilepaskan kurang untuk proses koagulasi, sehingga pada proses sedimentasi ia tidak hanya

mengendapkan flok hasil koagulasi, namun juga bagian dari  $\text{CaCO}_3$  yang tidak dapat larut. Ini juga dapat menjelaskan nilai efektivitas yang tinggi pada turbiditas dibandingkan fosfat karena Sebagian  $\text{CaCO}_3$  yang tidak dapat larut berperan sebagai pemberat sehingga agregat yang terbentuk mengendap lebih baik.

Hasil ini sejalan dengan penelitian dari Evi *et al* (2020) bahwa  $\text{CaO}$  lebih efektif dibandingkan  $\text{CaCO}_3$  dalam koagulasi untuk pengolahan air. Oktiawan *et al* (2024) pada penelitiannya yang menggunakan kalsium mampu menurunkan fosfat pada limbah pertanian mencapai 99,74%. Koagulan CKH-9 bahkan memiliki persentase penurunan fosfat lebih tinggi dibandingkan dengan Maretha *et al* (2014) yang menggunakan koagulan PAC sebanyak 60 mL untuk limbah laundry 1 L dengan presentase sebesar 90,24%. Hal ini membuktikan bahwa biokoagulan cangkang kerang hijau dengan kalsinasi  $900^\circ\text{C}$  efektif dalam pengolahan limbah *laundry*.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil dari penelitian mengenai **“Efektivitas Biokoagulan Dari Limbah Cangkang Kerang Hijau (*Perna viridis*) Dalam Pengolahan Limbah Cair *Laundry*”** kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Cangkang Kerang Hijau (CKH) yang dikalsinasi pada suhu 110°C, 500°C dan 900°C mempunyai karakteristik yang berbeda. Hasil karakterisasi FTIR ketiga sampel menunjukkan adanya gugus C-O dan Ca-O dari  $\text{CaCO}_3$ , Selain itu pada CKH-9 dikonfirmasi telah terbentuk CaO (kalsium oksida). Sementara dari hasil XRD, CKH-1 mempunyai fasa  $\text{CaCO}_3$  aragonit dengan sistem kristal ortorombik, sedangkan CKH-5 mempunyai fasa  $\text{CaCO}_3$  kalsit dengan sistem kristal trigonal (heksagonal axis), sementara itu CKH-9 terbentuk CaO dengan sistem kristal.
2. Karakteristik limbah cair *laundry* sebelum diberikan agen koagulan cangkang kerang hijau mempunyai tingkat kekeruhan sebesar 109 NTU dan kadar fosfat sebesar 50,33 mg/L. Setelah pemberian agen koagulan cangkang kerang hijau, kekeruhan dapat diturunkan

50,642%-99,899%. Sedangkan penurunan kadar fosfat dapat mencapai 72,242%-99,895%.

3. Kondisi optimum untuk proses koagulasi berdasarkan hasil optimasi adalah dengan menggunakan agen koagulan cangkang kerang hijau yang dikalsinasi pada suhu 900°C atau CKH-9 pada pH 2 dengan dosis sebanyak 2 g dan waktu pengadukan selama 1 menit yang berhasil menurunkan kekeruhan 99,899% dan fosfat sebesar 99,895%.

## **B. Saran**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, perlu dilakukan kajian lebih lanjut pada beberapa hal untuk hasil yang lebih memuaskan pada penelitian selanjutnya, seperti:

1. Mengkaji lebih lanjut hasil koagulasi pada parameter selain turbiditas dan fosfat atau parameter yang masih jarang dilakukan, seperti minyak dan lemak, *dissolved oxygen* (DO), bau, TSS, TDS hingga kadar surfaktan.
2. Melakukan optimasi lebih banyak pada variasi pH, dosis dan waktu koagulasi. Selain itu suhu selama koagulasi berlangsung, salinitas, alkalinitas hingga kinetika koagulasi dapat dikaji lebih lanjut.
3. Mengkaji lebih lanjut mengenai variasi ukuran dari masing-masing agen koagulan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [BSN] Badan Standarisasi Nasional. (2021). *Air dan Air Limbah – Bagian 31 : Cara Uji Kadar Ortofosfat dan Total Fosfor Menggunakan Spektrofotometer Dengan Reduksi Asam Askorbat. SNI 6989-31:2021. Jakarta (ID): S*Badan Standarisasi Nasional.
- Abidin, A. Z., Aflahi, R., & Arfan, K. (2018). Komparasi Kinerja Flokulan Akrilamida AMDMC dan AMDAC pada Penjernihan Air. *Jurnal Teknologi*, II(1), 1–7.
- Adawiah, S. R., Sutarno, S., & Suyanta, S. (2020). Phosphate Anion Adsorption-Desorption Study on CTAB . Modified Bentonite. *Indo. J. Chem. Res.*, 8(2), 125–136.
- Ahmad, A. L., Sumathi, S., & Hameed, B. H. (2006). Coagulation of residue oil and suspended solid in palm oil mill effluent by chitosan, alum and PAC. *Chemical Engineering Journal*, 118(1–2), 99–105.
- Ardiyanto, P., & Yuantari, M. G. C. (2016). 1. Analisis Limbah Laundry Informal Dengan Tingkat Pencemaran Lingkungan Di Kelurahan Muktiharjo Kidul Kecamatan Pedurungan Semarang. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 2(1), 1–12.
- Aridhani, A., Kurnyawaty, N., & Oko, S. (2021). Pemanfaatan Cangkang Kerang Hijau sebagai Adsorben untuk Menurunkan Kadar Besi ( $\text{Fe}^{2+}$ ) dalam Air. *Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat*, 13–16.
- Arif, M. N., Sinardi, S., & Soewondo, P. (2013). Studi Perbandingan Kitosan Cangkang Kerang Hijau Dan Cangkang Kepiting Dengan Pembuatan Secara Kimiawi Sebagai Koagulan Alam. *Jurnal Tehnik Lingkungan*, 19(1), 64–74.

- Arizuna, M., Suprpto, D., & Muskanonfola, M. R. (2014). Kandungan Nitrat Dan Fosfat Dalam Air Pori Sedimen Di Sungai Dan Muara Sungai Wedung Demak. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 3(1), 7–16.
- Arvidson, R. S., & Morse, J. W. (2013). Formation and Diagenesis of Carbonate Sediments. *Treatise on Geochemistry: Second Edition*, 9, 61–101.
- Badawi, A. K., Salama, R. S., & Mostafa, M. M. M. (2023a). Natural-based coagulants/flocculants as sustainable market-valued products for industrial wastewater treatment: a review of recent developments. *RSC Advances*, 13(28), 19335–19355.
- Badawi, A. K., Salama, R. S., & Mostafa, M. M. M. (2023b). Natural-based coagulants/flocculants as sustainable market-valued products for industrial wastewater treatment: a review of recent developments. *RSC Advances*, 13(28), 19335–19355.
- Basri, & Muhammad Rizki, A. (2023). Penanganan Kerang Hijau (*Perna viridis*) sebagai Olahan Produk Kamaboko. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Perairan*, 7(1), 30–37.
- Bija, S., Yulma, Imra, Aldian, Maulana, A., & Rozi, A. (2020). Biochoagulant Synthesis Based on Chitosan from Bandeng Fishing Waste and Its Application of Reduction of BOD and COD Value of Tofu Waste In Tarakan City. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 23(1), 86–92.
- Cappenberg, H. A. W. (2008). *Beberapa Aspek Biologi Kerang Hijau Perna viridis Linnaeus 1758*.
- Darezereshki, E. (2010). Synthesis of maghemite ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) nanoparticles by wet chemical method at room temperature. *Materials Letters*, 64(13), 1471–1472.

- Delforno, T. P., Belgini, D. R. B., Hidalgo, K. J., Centurion, V. B., Lacerda-Júnior, G. V., Duarte, I. C. S., Varesche, M. B. A., & Oliveira, V. M. (2020). Anaerobic reactor applied to laundry wastewater treatment: Unveiling the microbial community by gene and genome-centric approaches. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 149.
- Ekoputri, S. F., Rahmatunnissa, A., Nulfaidah, F., Ratnasari, Y., Djaeni, M., & Sari, D. A. (2023). Pengolahan Air Limbah dengan Metode Koagulasi Flokulasi pada Industri Kimia. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(1), 7781–7787.
- El-taweel, R. M., Mohamed, N., Alrefaey, K. A., Husien, S., Abdel-Aziz, A. B., Salim, A. I., Mostafa, N. G., Said, L. A., Fahim, I. S., & Radwan, A. G. (2023). A review of coagulation explaining its definition, mechanism, coagulant types, and optimization models; RSM, and ANN. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 6(October 2022), 100358.
- Euler, W. B., Kirschenba, L. J., & Ruek, B. (2000). *Determination of  $K_{sp}$ ,  $\Delta G^\circ$ ,  $\Delta H^\circ$ , and  $\Delta S^\circ$  for the Dissolution of Calcium Hydroxide in Water*. *General Chemistry Experiment*, 8, 1039–1040.
- Evi, J., Afriani, F., Rafsanjani, R. A., & Tiandho, Y. (2020). Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Darah Sebagai Bio-Koagulan untuk Penjernihan Air Tanah Terpolusi (Studi Kasus : Selindung). *Prosiding Seminar Penelitian Dan Pengabdian Pada Masyarakat*, 92–94.
- Fasihah, N. S., Maryani, Y., Heriyanto, H., Kimia, J. T., Teknik, F., Sultan, U., & Tirtayasa, A. (2022). Pengolahan Air Limbah Laundry Menggunakan Adsorpsi Cangkang Telur Ayam. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(20), 129–139.
- Fauzi, R., Farikhah, & Safitri, N. M. (2022a). ANALISIS BIOMETRI DAN STRUKTUR POPULASI KERANG HIJAU

(*Perna viridis*) DALAM BAGAN TANCAP DI LAUT BANYUURIP KECAMATAN UJUNGPAKKAH KABUPATEN GRESIK. *TECHNO-FISH*, 6(1), 67–82.

- Fauzi, R., Farikhah, & Safitri, N. M. (2022b). Analysis Of Biometry And Population Structure Of Green Mussel (*Perna viridis*) In Stake Culture In Banyuurip Beach, Ujungpangkah District, Gresik Regency. *Jurnal TECHNO-FISH*, 6(1), 67–82.
- Fessenden, R. J., & Fessenden, J. S. (1982). *Kimia Organik* (A. H. Pudjaatmakan (ed.); Edisi Ket). Penerbit Erlangga.
- Fitria, D., Komala, P. S., & Vendela, D. (2022). Pengaruh Waktu Flokulasi Pada Proses Koagulasi Flokulasi Dengan Biokoagulan Kelor Untuk Menyingkahkan Kadar Besi Air Sumur. *Jurnal Reka Lingkungan*, 10(2), 165–174.
- Freitas, T. K. F. S., Almeida, C. A., Manholer, D. D., Geraldino, H. C. L., de Souza, M. T. F., & Garcia, J. C. (2018). *Review of Utilization Plant-Based Coagulants as Alternatives to Textile Wastewater Treatment*. 27–79.
- Gheraout, D., & Gheraout, B. (2012). Sweep flocculation as a second form of charge neutralisation-A review. *Desalination and Water Treatment*, 44(1–3), 15–28.
- Giagnorio, M., Amelio, A., Grüttner, H., & Tiraferri, A. (2017). Environmental impacts of detergents and benefits of their recovery in the laundering industry. *Journal of Cleaner Production*, 154, 593–601.
- Hafidhin, F. A., Ratnawati, R., Sutrisno, J., Nurhayati, I., Nur Febrianti, A., & Al Kholif, M. (2023). Penerapan Teknologi Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Eceng Gondok untuk Mengolah Air Limbah Laundry. *Jurnal Ilmu Alam Dan Lingkungan*, 14(2), 42–50.  
<https://journal.unhas.ac.id/index.php/jai2>



- Hidayah, I. (2023). *Kerang Hijau, Potensi Ekonomi dan Tantangan Budidaya di Indonesia*.  
<https://www.detik.com/edu/detikpedia/d-6635667/kerang-hijau-potensi-ekonomi-dan-tantangan-budidaya-di-indonesia>
- Ihsan. (2017). *Institut Teknologi Nasional 4 Fuel cell*. 4–14.
- Intania Dwi, D. (2021). *Pengaruh Fitoremediasi Tanaman Melati Air (Echinodorus palaefolius) Terhadap Penurunan Kadar Fosfat Pada Limbah Laundry Intania*. 12(5), 10–13.
- Jamaludin. (2018). X-RD (X-Ray Diffractions). *Makalah Fisika Material*, A1c3 06066, 14.  
<https://ejournal.akprind.ac.id/index.php/technoscientia/article/download/109/56/105>
- Kaur, H., Rana, B., Tomar, D., & Kaur, S. (2021). *Fundamentals of ATR-FTIR Spectroscopy and Its Role for Probing In-Situ Fundamentals of ATR-FTIR Spectroscopy and Its Role for Probing In-Situ Molecular-Level Interactions* (Issue April). Springer Singapore.
- Khopkar, S. M. (2008). *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI Press.
- Kim, S., Jeon, J., & Kim, M. J. (2022). Vaterite production and particle size and shape control using seawater as an indirect carbonation solvent. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(2), 107296.
- Komis, Legasari, L., Amiliza Miarti, Tantri Oktari, & Yuni Melwani. (2024). Analisis Kadar Kalsium Oksida (CaO) Pada Batu Karang Di Pulau Kelagian Kecil Lampung. *Jurnal Redoks*, 9(2), 99–104.
- Kristianto, H., Jennifer, A., Sugih, A. K., & Prasetyo, S. (2020). Potensi Polisakarida dari Limbah Buah-buahan sebagai Koagulan Alami dalam Pengolahan Air dan Limbah Cair: Review. *Jurnal Rekayasa Proses*, 14(2), 108.

- Kustomo. (2023). *KIMIA LINGKUNGAN Berbasis Unity of Sains* (Y. Rohmawati (ed.); Edisi Pert). Fatawa Publishing.
- Lelboi, J., Kadaria, U., & Pramadita, S. (2024). Motor Pompa DC Sebagai Mesin Alat Pengaduk Pada Proses Koagulasi. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 12(3), 631.
- Li, H., Wu, S., Du, C., Zhong, Y., & Yang, C. (2020). Preparation, Performances, and Mechanisms of Microbial Flocculants for Wastewater Treatment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(4).
- Listantia, N. L. (2020). Analisis Kandungan Fosfat PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> Dalam Air Sungai Secara Spektrofotometri Dengan Metode Biru-Molibdat. *SainsTech Innovation Journal*, 3(1), 59–65.
- Lutfi, A. (2019). Pengukuran Tingkat Kekeruhan Air Berbasis Sensor Turbidity Dengan Va. *Pelayanan Kesehatan UNIVERSITAS AIRLANGGA*, 2(Dm), 3–13. <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/23790/4/Chapter1.pdf>
- Maretha N, A., Oktiawan, W., & Rezagama, A. (2014). Pengolahan Limbah Laundry dengan Penambahan Koagulan Polyalumunium Chloride (PAC) dan Filter Karbon Aktif. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 3(4), 1–10.
- Martins, V. S., Barbosa, C. C. F., de Carvalho, L. A. S., Jorge, D. S. F., Lobo, F. de L., & de Moraes Novo, E. M. L. (2017). Assessment of atmospheric correction methods for sentinel-2 MSI images applied to Amazon floodplain lakes. *Remote Sensing*, 9(4), 322.
- Marwanto, A., & Mulyati, S. (2022). Pengaruh Variasi Biokoagulan Cangkang Telur Ayam Terhadap Penurunan Parameter Fe Air Sumur Gali. *Journal of Nursing and Public Health*, 10(2), 178–183.

- Mubarak, F. (2021). Spektrofotometer Prinsip dan Cara Kerjanya. *Farmasi Industri: Universitas Surabaya, June*, 1–9.
- Mudasir, & Tri Wahyuni, E. (2023). *Buku Ajar Metode Spektrometri* (Edisi Pert). Gadjah Mada University Press.
- Mulyaningsih, S. (2018). Kristalografi & Mineralogi. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 1).
- Murdikaningrum, G., Kencanawati, K., Ramdhani, B. R., & Ramdani, R. (2022). Pemanfaatan Lumpur Hasil Instalasi Pengolahan Air Limbah Tekstil sebagai Bahan Baku Koagulan Besi. *Sainteks*, 4(2), 90–103.
- Mustikarani, F., Arifin, A., & Saziati, O. (2022). Efisiensi Pengolahan Fosfat Limbah Cair Laundry Menggunakan Karbon Aktif Sampah Plastik Pvc Dan Ldpe. *Jurnal Reka Lingkungan*, 10(3), 222–231.
- Novianti, Jasruddin, & Sujiono, E. H. (2013). KARAKTERISASI KALSIUM KARBONAT ( $Ca(CO_3)$ ) DARI BATU KAPUR KELURAHAN TELLU LIMPOE KECAMATAN SUPPA. 169–172.
- Nurhayati, I. (2010). INASI MEDIA FILTRASI UNTUK PENURUNAN KESADAHAN DAN BESI Oleh : Indah Nurhayati \*). 08.
- Oktiawan, W., Sarminingsih, A., Hadiwidodo, M., & Purwono, P. (2024). Electrocoagulation process for phosphate recovery of agricultural wastewater: effect of calcium adding, voltage, and time. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(9), 842.
- Owodunni, A. A., & Ismail, S. (2021a). Revolutionary technique for sustainable plant-based green coagulants in industrial wastewater treatment—A review. *Journal of Water Process Engineering*, 42(2).

- Owodunni, A. A., & Ismail, S. (2021b). Revolutionary technique for sustainable plant-based green coagulants in industrial wastewater treatment—A review. *Journal of Water Process Engineering*, 42, 102096.
- Purwaningsih, D. Y., Anisa, D., Drezely, A., & Putri, O. (2020). Kitosan Sebagai Koagulan Untuk Removal Warna Pada Limbah Cair Industri Pangan. *Seinar Nasional Sains Dann Teknologi Terapan VIII*, 541–546.
- Putra, M. M., Bayuseno, A. P., Ismail, R., Jurusan, M., Mesin, T., Teknik, F., Diponegoro, U., Jurusan, D., Mesin, T., Teknik, F., & Diponegoro, U. (2024). *SINTESIS DAN KARAKTERISASI PRECIPITATED CALCIUM CARBONATE ( PCC ) DARI LIMBAH EKSTRAKSI ASPAL BUTON MENGGUNAKAN PELARUT HYDROCHLORIC ACID ( HCl ) DENGAN METODE KARBONASI MENGGUNAKAN AMONIUM*. 12(3), 35–40.
- Putri, E. D. (2016). *Sintesis Kalsium Karbonat Terendapkan (Precipitated Calcium Carbonate) dari Batuan Kapur Alam Tuban dengan Metode Soda Api*.
- Rahimah, Z., Heldawati, H., & Syauqiyah, I. (2016). Rohimah 107892-ID-pengolahan-limbah-deterjen-dengan-metode. *Konversi*, 5(2), 13–19.
- Rahman, A., Astuti, L. P., Warsa, A., & Sentosa, A. A. (2021). Prediction of Water Turbidity Using Satellite Imagery Sentinel-2A in Jatiluhur Reservoir, West Java. *Jurnal Sumber Daya Air*, 17(2), 59–68.
- Ranjane, P., Deshpande, M., & Kulkarni, P. (2023). Various polymorphs of calcium carbonate and poly(ethylene) glycol as thermal energy storage materials. *Journal of Applied Polymer Science*, 140.
- Ratnawati, R., Nurhayati, I., & Sugito, S. (2018). *The Performance of Algae-Bacteria to Improve The Degree of*

*Environmental Health. July 2019, 17–23.*

- Razali, N., Musa, F. A., Jumadi, N., & Jalani, A. Y. (2021). Production of Calcium Oxide from Eggshell: Study on Calcination Temperature, Raw Weight and Contact Time. *RSU Internasional Research Conference*, 624(April), 624–637. <https://rsucon.rsu.ac.th/proceedings>
- Resaldi, M. F., Prananingrum, W., & Cevanti, T. A. (2020). Karakteristik Senyawa Kalsium (Ca) Dari Hasil Sintesis Cangkang Kerang Darah (Anadara granosa)) Compound from Synthesized Blood Cockle Shells (Anadara granosa) with Various Calcination Temperatures). *Teknologi Kedokteran Gigi*, 1–11.
- Rifai, A. A., & Widiarti, I. W. (2024). Pengaruh Penambahan Limbah Cangkang Telur Ayam (Gallus Gallus Domesticus) dan Kapur Tohor Terhadap Parameter pH dan TSS Pada Air Asam Tambang. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumihan SATU BUMI*, 5(1), 109–116.
- Sanjiwani, N. M. S., Paramitha, D. A. I., Chandra, A. A., Ariawan, I. M. D., Megawati, F., Dewi, T. W. N., Miarati, P. A. M., & Sudiarsa, I. W. (2020). Pembuatan Hair Tonic Berbahan Dasar Lidah Buaya Dananalisis Dengan Fourier Transform Infrared. *Jurnal Widyadari*, 21(1), 249–262.
- Sankari, G. et al. (2010). *Analysis of serum immunoglobulin using Fuorier transform infrared spectral measurements. Biology and Medicine.*
- Sari, R. S., Wulandari, S. Y., Maslukah, L., Kunarso, K., & Wirasatriya, A. (2022). Konsentrasi Ion Fosfat di Perairan Wiso, Ujungbatu, Jepara. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(1), 88–95.
- Saritha, V., Srinivas, N., & Srikanth Vuppala, N. V. (2017). Analysis and optimization of coagulation and flocculation process. *Applied Water Science*, 7(1), 451–460.

- Silverstein, R., Webster, F., & Kiemle, D. (2005). Infrared Epectrometry. *Spectrometric Identification of Organic Compounds*, 72–85.
- Sinambela, F., Windarti, T., & Parsaroan. (2012). Pengaruh Waktu pada Pembentukan Kalsium Fosfat dengan. *Journal of Scientific and Applied Chemistry*, 15(3), 105–110.
- Siriprom, W., Chumnavej, N., Choeysuppak, A., & Limsuwan, P. (2012). A Biomonitoring Study: Trace Metal Elements in Perna Viridis Shell. *Procedia Engineering*, 32, 1123–1126.
- Situmorang, M. (2017). *Kimia Lingkungan* (Cetakan Pe). PT RAJAGRAFINDO PERSADA.
- Sodhi, G. S. (2015). *Konsep Dasar Kimia Lingkungan* (Edisi Keti). Narosa Publishing House.
- Soegianto, A., Putranto, T. W. C., Payus, C. M., Zarqasi, F. R., Syafitirulla, P. P., Muchlisin, M. I., Ramdhani, S., Nosafandra, A. S., & Wibisono, A. D. (2021). Metals in the tissues of the East Java Coast Indonesian green mussel (*Perna viridis* Linnaeus, 1758) and associated health risks. *Regional Studies in Marine Science*, 48, 102045.
- Suhaera, S., Rachmayanti, A. S., Sammulia, S. F., Dewi, S. S., Haryani, R., Hasan, N., Haris, R. N. H., & Annisa, N. (2024). Pemanfaatan Kalsium dari Limbah Cangkang Kerang Hijau (*Perna viridis*) Sebagai Zat Aktif pada Sediaan Pasta Gigi. *Jurnal Surya Medika*, 10(1), 354–361.
- Sunardi, S., Krismawati, E. D., & Mahayana, A. (2020). Sintesis dan Karakterisasi Nanokalsium Oksida dari Cangkang Telur. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 16(2), 250.
- Suryani, M. Y., Hariyadi, A., Paramita, A., & Safitri, R. A. (2023). Verifikasi Metode Analisis Kadar Total Fosfat dalam Air

- Limbah Laundry Merujuk pada SNI 06-6989.31-2005. *Indonesian Journal of Laboratory*, 1(1), 1.
- Susanto, A., & Widiadi, J. B. (2003). STUDI PENURUNAN KONSENTRASI SURFAKTAN DENGAN METODE PENGENDAPAN MENGGUNAKAN  $\text{Ca(OH)}_2$ . *Jurnal Purifikasi*, 4(3), 121–126.
- Syahputra, K. Y., Hidayah, M., & ... (2023). Utilization of Nylon-Based Eggshell Waste in the Making of Microfiltration Membranes for Reducing Metal  $\text{Fe}^{3+}$ . *Indonesian Journal of ...*, 12(2).  
<https://journal.unnes.ac.id/sju/ijcs/article/view/68705>
- Syamsidar, Ramayana, R., & Ramadani, K. (2017). Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Hijau (*Perna Viridis*) Menjadi Kitin Sebagai Biokoagulan Air Sungai. *Al-Kimia*, 5(1), 89–99.
- Tanjung, D. S. (2016). Pemanfaatan Kitosan Dari Limbah Cangkang Kerang Sumping ( *Amusium Pleuronectes* ) Sebagai Koagulan Penjernih Air. *Teknik Lingkungan UII*, 6.
- Tiandho, Y., Aldila, H., Mustari, Megiyo, & Afriani, F. (2018). Utilization of wasted cockle shell as a natural coagulant and a neutralizer of polluted water in Bangka Belitung islands, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1013(1).
- Toledo, M. (2021). UV / VIS Spectrophotometry. *Mettler-Toledo International*, September 2015, 56.  
<https://www.mt.com/es/es/home/library/guides/laboratory-division/1/uvvis-spectrophotometry-guide-applications-fundamentals.html>
- Tone, T., & Koga, N. (2021). Thermally Induced Aragonite-Calcite Transformation in Freshwater Pearl: A Mutual Relation with the Thermal Dehydration of Included Water. *ACS Omega*, 6(21), 13904–13914.

- Tsai, D. H., Pease, L. F., Zangmeister, R. A., Tarlov, M. J., & Zachariah, M. R. (2009). Aggregation kinetics of colloidal particles measured by gas-phase differential mobility analysis. *Langmuir*, 25(1), 140–146.
- Yuliatun, L., Kunarti, E. S., Widjijono, W., & Nuryono, N. (2023). Preparation of Precipitated Calcium Carbonate (PCC) from Shells through Dissolution, Carbonation, and Sonication. *Journal of Aceh Physics Society*, 12(1), 27–31.
- Zairinayati, & Shatriadi, H. (2019). Biodegradasi Fosfat pada Limbah Laundry menggunakan Bakteri Consorsium Pelarut Fosfat. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 18(1), 57.
- Zouboulis, A. I., & Traskas, G. (2005). Comparable evaluation of various commercially available aluminium-based coagulants for the treatment of surface water and for the post-treatment of urban wastewater. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 80(10), 1136–1147.



# LAMPIRAN

## Lampiran 1 Hasil Analisa Software Match!

### Match! Phase Analysis Report

Sample: Putri\_R\_CKH\_1

#### Sample Data

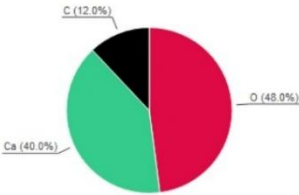
File name	Putri_R_CKH_1.xy
File path	C:/Users/LENOVO ThinkPad L380/Documents/FILE SKRIPSI PUTRI/HASIL UJI/XRD/Putri Rahmawati
	Maret/CKH 1
Data collected	Mar 6, 2025 09:58:03
Data range	10.010° - 79.990°
Original data range	10.010° - 79.990°
Number of points	3500
Step size	0.020
Rietveld refinement converged	No
Alpha2 subtracted	No
Background subtr.	No
Data smoothed	Yes
Radiation	X-rays
Wavelength	1.541874 Å

#### Analysis Results

Phase composition (Weight %) calc. by RIR method



Elemental composition (Weight %) calc. by RIR method



Index	Amount (%)	Name	Formula sum	Element	Amount (weight %)
A	100.0	Aragonite	C Ca O3	O	48.0% (*)
	7.6	Unidentified peak area		Ca	40.0%
				C	12.0% (*)
				*LE (sum)	60.0%

Amounts calculated by RIR (Reference Intensity Ratio) method

#### Details of identified phases

##### A: Aragonite (100.0 %)\*

Formula sum	C Ca O3
Entry number	96-901-4839
Figure-of-Merit (FoM)	0.790936
Total number of peaks	576
Peaks in range	160
Peaks matched	88
Intensity scale factor	0.74
2theta correction	0.075°
Space group	P m c n
Crystal system	orthorhombic
Unit cell	a= 4.9586 Å b= 7.9867 Å c= 5.7547 Å
V/c	1.12 (Source: Unknown)
Calc. density	2.917 g/cm³
Reference	Antao S. M., Hassan I., "Temperature dependence of the structural parameters in the transformation of aragonite to calcite, as determined from in situ synchrotron powder X-ray-diffraction data Note: T = 92 °C Note: P = 101 kPa", The Canadian Mineralogist <b>48</b> , 1225-1236 (2010)

(\*) 2theta values have been shifted internally for the calculation of the amounts, the intensity scaling factors as well as the figure-of-merit (FoM), due to

the active search-match option 'Automatic zero point adaption'.

Candidates

Name	Formula	Entry No.	FoM
Calcite	C Ca O3	96-900-9668	0.6087
Calcite	C Ca O3	96-900-9669	0.6065
	C Ca O3	96-210-0190	0.6001

Search-Match

Settings

Reference database used	COD-Inorg 2024.12.08
Method	Peak-based search-match
Automatic zeropoint adaptation	Yes
Downgrade entries with low scaling factors	Yes
Minimum figure-of-merit (FoM)	0.60
2theta window for peak corr.	0.30 deg.
Minimum rel. int. for peak corr.	0
Parameter/influence 2theta	0.50
Parameter/influence intensities	0.50
Parameter multiple/single phase(s)	0.50

Peak List

No.	2theta [°]	d [Å]	I/I0 (peak height)	Counts (peak area)	FWHM	Matched
1	26.09	3.4155	914.89	934.43	0.4662	A
2	27.11	3.2893	501.42	439.43	0.4000	A
3	29.35	3.0431	378.33	357.30	0.4311	
4	30.99	2.8857	157.75	159.77	0.4623	A
5	32.99	2.7152	1000.00	788.74	0.3600	A
6	36.03	2.4928	534.35	514.19	0.4392	A
7	37.81	2.3794	525.99	672.27	0.5834	A
8	38.27	2.3519	179.81	349.87	0.8881	A
9	39.43	2.2853	47.97	42.04	0.4000	
10	41.07	2.1978	92.41	93.37	0.4611	A
11	42.85	2.1105	213.95	226.87	0.4836	A
12	45.79	1.9816	643.18	620.03	0.4400	A
13	47.43	1.9169	91.51	143.84	0.7175	
14	48.27	1.8854	423.31	370.98	0.4000	A
15	50.13	1.8198	270.52	306.65	0.5174	A
16	52.47	1.7440	500.07	701.20	0.6400	A
17	52.85	1.7323	80.60	95.67	0.5417	A
18	53.93	1.7002	24.56	25.83	0.4800	A
19	56.27	1.6349	29.73	60.08	0.9223	A
20	59.13	1.5625	39.81	53.57	0.6141	A
21	61.77	1.5019	42.31	57.36	0.6188	A
22	63.25	1.4703	48.90	74.42	0.6946	A
23	64.71	1.4406	20.15	22.44	0.5085	A
24	65.95	1.4165	114.26	142.35	0.5686	A
25	68.97	1.3616	102.76	158.74	0.7051	A
26	75.33	1.2617	47.91	57.26	0.5455	A
27	76.73	1.2421	93.37	130.92	0.6400	A
28	77.89	1.2265	61.07	167.37	1.2509	A
29	79.29	1.2083	61.21	72.59	0.5412	A

Integrated Profile Areas

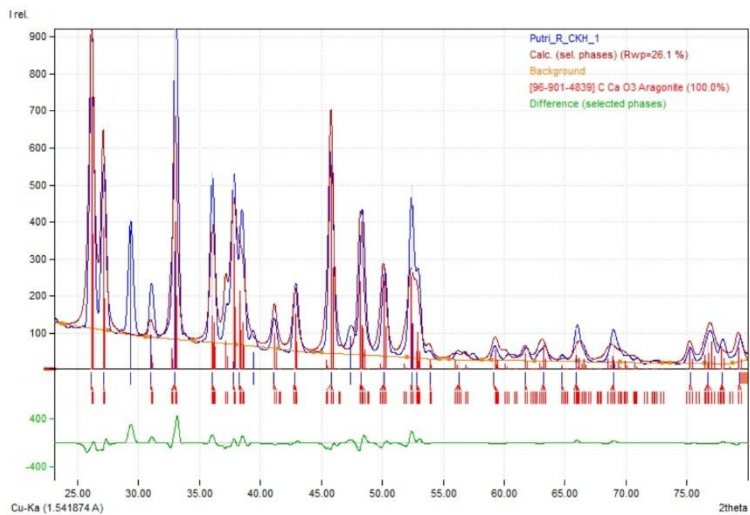
Based on calculated profile

Profile area	Counts	Amount
Overall diffraction profile	998297	100.00%
Background radiation	624359	62.54%
Diffraction peaks	373937	37.46%
Peak area belonging to selected phases	297732	29.82%
Peak area of phase A (Aragonite)	297732	29.82%
Unidentified peak area	76205	7.63%

Peak Residuals

Peak data	Counts	Amount
Overall peak intensity	7839	100.00%
Peak intensity belonging to selected phases	7081	90.33%
Unidentified peak intensity	758	9.67%

Diffraction Pattern Graphics



# Match! Phase Analysis Report

Sample: Putri\_R\_CKH\_5

<b>Sample Data</b>	
File name	Putri_R_CKH_5.xy
File path	C:/Users/LENOVO ThinkPad L380/Documents/FILE SKRIPSI PUTRI/HASIL UJI/XRD/Putri Rahmawati
	Maret/CKH 5
Data collected	Mar 6, 2025 09:58:03
Data range	10.010° - 79.990°
Original data range	10.010° - 79.990°
Number of points	3500
Step size	0.020
Rietveld refinement converged	No
Alpha2 subtracted	No
Background subtr.	No
Data smoothed	Yes
Radiation	X-rays
Wavelength	1.541874 Å

## Analysis Results

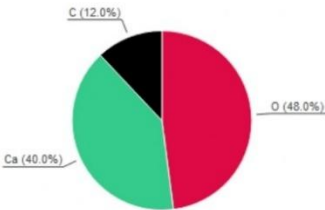
Phase composition (Weight %) calc. by RIR method



Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	100.0	Calcite	C Ca O3
	4.4	Unidentified peak area	

Amounts calculated by RIR (Reference Intensity Ratio) method

Elemental composition (Weight %) calc. by RIR method



Element	Amount (weight %)
O	48.0% (*)
Ca	40.0%
C	12.0% (*)
*LE (sum)	60.0%

### Details of identified phases

<b>A: Calcite (100.0 %)</b>	
Formula sum	C Ca O3
Entry number	96-901-6707
Figure-of-Merit (FoM)	0.890034 <sup>1</sup>
Total number of peaks	178
Peaks in range	47
Peaks matched	42
Intensity scale factor	0.68
2theta correction	0.097°
Space group	R-3 c
Crystal system	trigonal (hexagonal axes)
Unit cell	a= 4.9844 Å c= 17.0376 Å
I/c	2.82 (Source: Unknown)
Calc. density	2.720 g/cm <sup>3</sup>
Reference	Ondrus P., Veselovsky F., Gabasova A., Hloušek J., Šrejn V., Vavrník I., Skála R., Sejkora J., Drábek M., "Primary minerals of the Jáchymov ore district", Journal of the Czech Geological Society <b>48</b> , 19-147 (2003)

(<sup>1</sup>)2theta values have been shifted internally for the calculation of the amounts, the intensity scaling factors as well as the figure-of-merit (FoM), due to the active search-match option 'Automatic zero point adaption'.

Search-Match

<b>Settings</b>	
Reference database used	COD-Inorg 2024.12.08
Method	Peak-based search-match
Automatic zeropoint adaptation	Yes
Downgrade entries with low scaling factors	Yes
Minimum figure-of-merit (FoM)	0.60
2theta window for peak corr.	0.30 deg.
Minimum rel. int. for peak corr.	0
Parameter/influence 2theta	0.50
Parameter/influence intensities	0.50
Parameter multiple/single phase(s)	0.50

Peak List

No.	2theta [°]	d [Å]	I/I0 (peak height)	Counts (peak area)	FWHM	Matched
1	23.03	3.8619	80.76	260.47	0.3291	A
2	29.35	3.0431	1000.00	3136.07	0.3200	A
3	31.37	2.8516	33.05	132.86	0.4102	A
4	35.95	2.4982	126.45	396.54	0.3200	A
5	39.41	2.2864	203.71	677.66	0.3394	A
6	43.15	2.0965	154.07	483.19	0.3200	A
7	47.51	1.9138	256.21	1082.51	0.4311	A
8	48.51	1.8767	234.98	720.20	0.3127	A
9	56.63	1.6254	34.55	131.65	0.3888	A
10	57.41	1.6051	86.69	305.86	0.3600	A
11	58.11	1.5874	12.69	49.76	0.4000	A
12	60.77	1.5242	59.56	303.52	0.5200	A
13	61.39	1.5103	24.62	94.68	0.3925	A
14	63.07	1.4740	20.58	79.00	0.3918	A
15	64.67	1.4414	56.55	199.53	0.3600	A
16	65.59	1.4234	43.89	172.05	0.4000	A
17	69.19	1.3578	11.64	46.18	0.4048	A
18	70.23	1.3402	21.28	75.09	0.3600	A
19	72.89	1.2978	27.88	109.29	0.4000	A
20	73.77	1.2844	6.11	26.37	0.4400	A
21	76.33	1.2476	11.33	46.13	0.4156	A
22	77.19	1.2358	24.10	91.36	0.3869	A

Integrated Profile Areas

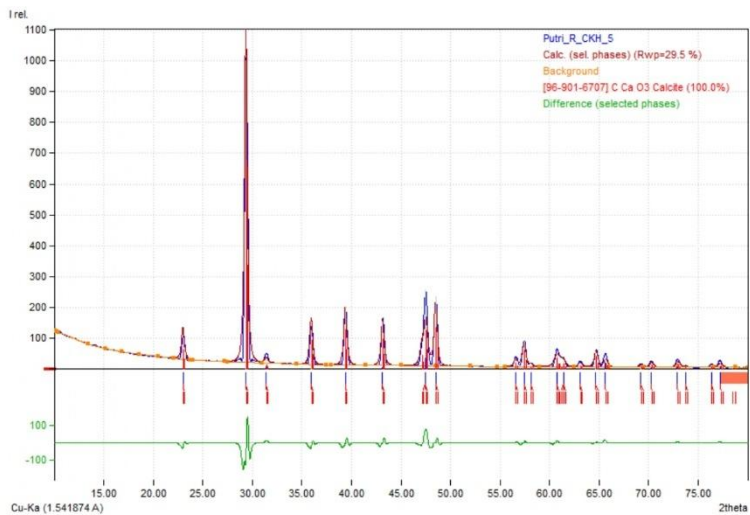
Based on calculated profile

Profile area	Counts	Amount
Overall diffraction profile	1021165	100.00%
Background radiation	610375	59.77%
Diffraction peaks	410790	40.23%
Peak area belonging to selected phases	365595	35.80%
Peak area of phase A (Calcite)	365595	35.80%
Unidentified peak area	45196	4.43%

Peak Residuals

Peak data	Counts	Amount
Overall peak intensity	8620	100.00%
Peak intensity belonging to selected phases	8316	96.48%
Unidentified peak intensity	304	3.52%

Diffraction Pattern Graphics



## Match! Phase Analysis Report

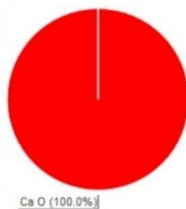
Sample: Putri R \_CaO

### Sample Data

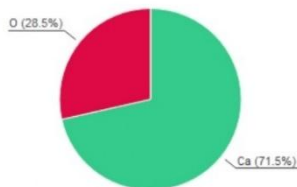
File name	Putri R _CaO.xy
File path	C:/Users/LENOVO ThinkPad L380/Documents/FILE SKRIPSI PUTRI/HASIL UJI/XRD/Putri Rahmawati
Data collected	Jan 9, 2025 12:05:04
Data range	10.010° - 79.990°
Original data range	10.010° - 79.990°
Number of points	3500
Step size	0.020
Rietveld refinement converged	No
Alpha2 subtracted	No
Background subtr.	No
Data smoothed	Yes
Radiation	X-rays
Wavelength	1.541874 Å

### Analysis Results

Phase composition (Weight %) calc. by RIR method



Elemental composition (Weight %) calc. by RIR method



Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	100.0	Calcium oxide Lime	Ca O
	17.3	Unidentified peak area	

Element	Amount (weight %)
Ca	71.5%
O	28.5% (*)
*LE (sum)	28.5%

Amounts calculated by RIR (Reference Intensity Ratio) method

### Details of identified phases

#### A: Calcium oxide Lime (100.0 %)

Formula sum	Ca O
Entry number	96-100-0045
Figure-of-Merit (FoM)	0.821947 <sup>*</sup>
Total number of peaks	26
Peaks in range	11
Peaks matched	11
Intensity scale factor	0.60
2theta correction	0.100°
Space group	Fm -3 m
Crystal system	cubic
Unit cell	a= 4.7990 Å
I/hc	4.59 (Source: Unknown)
Meas. density	3.350 g/cm <sup>3</sup>
Calc. density	3.370 g/cm <sup>3</sup>
Reference	Primak W, Kaufman H, Ward R, "X-Ray Diffraction Studies of Systems Involved in the Preparation of Alkaline Earth Sulfide and Selenide Phosphors", Journal of the American Chemical Society <b>70</b> , 2043-2046 (1948)

(\*) 2theta values have been shifted internally for the calculation of the amounts, the intensity scaling factors as well as the figure-of-merit (FoM), due to the active search-match option 'Automatic zero point adaption'.

## Candidates

Name	Formula	Entry No.	FoM
Calcite	C Ca O3	96-900-9669	0.7688
Calcite	C Ca O3	96-900-9668	0.7665
Calcite	C Ca O3	96-210-0190	0.7650
calcite	C Ca O3	96-210-0993	0.7639
Calcite	C Ca O3	96-900-7688	0.7636
Calcium Carbonate	C Ca O3	96-702-2028	0.7634
	C Ca O3	96-154-7351	0.7632
Calcite	C Ca O3	96-901-5391	0.7632
Calcite	C Ca O3	96-901-6023	0.7631
Calcite	C Ca O3	96-900-0096	0.7630
Calcite	C Ca0.99 Mg0.01 O3	96-901-7360	0.7630
	C Ca O	96-154-7349	0.7623
Calcite	C Ca O3	96-900-0966	0.7622
Calcite	C Ca O3	96-901-6707	0.7618
	C Ca O	96-154-7348	0.7617
	C Ca O3	96-450-2442	0.7614
Calcite	C Ca O3	96-900-7690	0.7606
	C Ca O	96-154-7350	0.7596
CaCO3	C Ca O3	96-702-0140	0.7577
Calcium carbonate (Calcite)	C Ca O3	96-101-0929	0.7518
Calcite	C Ca O3	96-900-0967	0.7497
Calcium carbonate (Calcite)	C Ca O3	96-101-0963	0.7443
	C Ca O3	96-450-2444	0.7368
Ca (C O3)	C Ca O3	96-231-0544	0.7359
Calcite	C Ca0.936 Mg0.064 O3	96-900-1298	0.6907
	Er10 O21 W2	96-210-8048	0.6784
Magnesium calcite	C Ca0.94 Mg0.06 O3	96-721-4218	0.6715
	O21 W2 Y10	96-210-8049	0.6683
Carlinite	S Ti2	96-901-2278	0.6473
	Ge2 Mn O7 Sr2	96-432-8648	0.6327
Platinum sulfide (Cooperite)	Pt S	96-101-1335	0.6317
Cooperite	Pt1.012 S0.988	96-901-2671	0.6263
Cooperite	Fe0.001 Pt0.954 S1.045	96-901-2681	0.6262
Cooperite	Fe0.002 Pt0.964 S1.034	96-901-2680	0.6261
Cooperite	Fe0.001 Pt0.97 S1.029	96-901-2679	0.6260
Cooperite	Fe0.001 Pt0.98 S1.019	96-901-2677	0.6259
Cooperite	Fe0.001 Pt0.974 S1.025	96-901-2678	0.6259
Cooperite	Pt0.982 S1.018	96-901-2676	0.6258
Cooperite	Fe0.001 Pt0.992 S1.007	96-901-2674	0.6257
Cooperite	Fe0.001 Pt0.989 S1.01	96-901-2675	0.6257
Cooperite	Pt1.001 S	96-901-2672	0.6256
Cooperite	Pt0.997 S1.003	96-901-2673	0.6256
Na (Al H4)	Al H4 Na	96-403-1695	0.6209
	Cu26 Ge6 S32 V2	96-156-8388	0.6193
Ca (C O3)	C Ca O3	96-210-6395	0.6172
Germanite	Cu13 Fe2 Ge2 S16	96-900-0941	0.6146
	Al6 B6 K4.11 O21 Rb1.89	96-152-9247	0.6131
Ice IX	D2 O	96-156-6645	0.6036

## Search-Match

## Settings

Reference database used	COD-Inorg 2024.12.08
Method	Peak-based search-match
Automatic zeropoint adaptation	Yes
Downgrade entries with low scaling factors	Yes
Minimum figure-of-merit (FoM)	0.60
2theta window for peak corr.	0.30 deg.
Minimum rel. int. for peak corr.	0
Parameter/influence 2theta	0.50
Parameter/influence intensities	0.50
Parameter multiple/single phase(s)	0.50

## Peak List

No.	2theta [°]	d [Å]	I/I0 (peak height)	Counts (peak area)	FWHM	Matched
1	29.49	3.0290	336.45	403.98	0.3200	
2	32.23	2.7775	392.24	353.22	0.2400	A
3	34.17	2.6241	37.20	106.08	0.7600	
4	36.01	2.4941	46.20	57.65	0.3326	
5	37.41	2.4040	1000.00	1050.60	0.2800	A
6	39.49	2.2820	186.51	223.94	0.3200	
7	43.19	2.0947	104.17	109.44	0.2800	
8	47.57	1.9115	467.53	609.20	0.3473	
9	48.53	1.8760	107.03	131.46	0.3273	
10	50.89	1.7944	19.89	49.80	0.6671	
11	53.93	1.7002	518.65	544.90	0.2800	A
12	57.49	1.6031	62.26	87.50	0.3746	



13	60.81	1.5233	33.65	55.55	0.4400	
14	61.49	1.5080	29.71	52.85	0.4741	
15	64.21	1.4506	201.73	242.22	0.3200	A
16	65.71	1.4210	41.40	50.18	0.3230	
17	67.47	1.3882	175.98	237.71	0.3600	A
18	70.21	1.3406	11.27	6.77	0.1600	
19	73.03	1.2956	20.63	32.21	0.4161	
20	77.25	1.2350	24.90	45.01	0.4818	
21	79.77	1.2022	30.83	30.80	0.2662	A

### Integrated Profile Areas

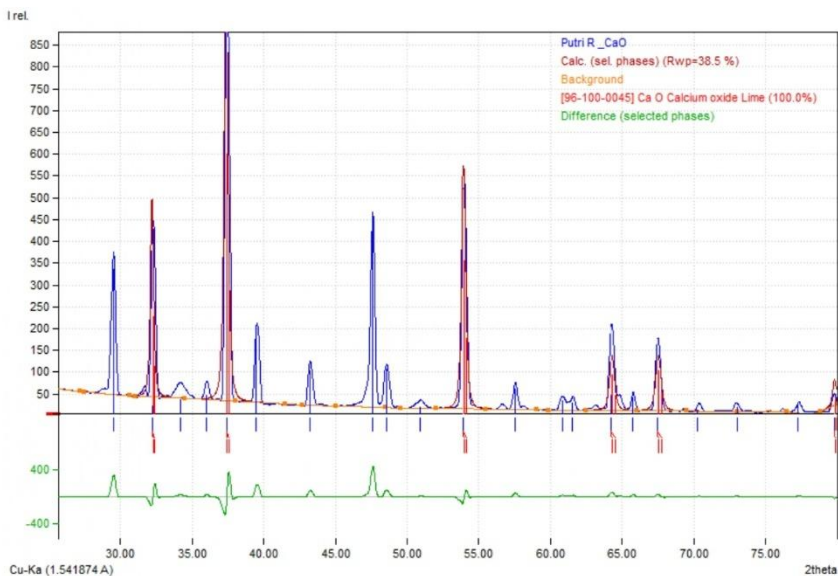
Based on calculated profile

Profile area	Counts	Amount
Overall diffraction profile	773692	100.00%
Background radiation	526371	68.03%
Diffraction peaks	247321	31.97%
Peak area belonging to selected phases	113498	14.67%
Peak area of phase A (Calcium oxide Lime)	113498	14.67%
Unidentified peak area	133823	17.30%

### Peak Residuals

Peak data	Counts	Amount
Overall peak intensity	4481	100.00%
Peak intensity belonging to selected phases	3447	76.92%
Unidentified peak intensity	1034	23.08%

### Diffraction Pattern Graphics



## Lampiran 2 Hasil Uji Kadar Fosfat

### Report

Instrument type: P8      Serial number:  
Spectrum range(nm): 1      Light switch(nm): 340.0  
Operate mode: Common      Operated by: Guest

#### File information

File name: NR dan Kadar Limbah Laundry Putri Rahma      Create time: 2/10/2025 1:03:19 PM

Measure method: Single WL  
Measure WL(nm): 880.0  
Measure count: 1  
Fitting method: Linear  
Zero intercept: Closed  
Calibration method: Measure standard sample  
Standard sample count: 7  
Threshold(mg/L) :  
Method creator: Guest  
Method create time: 2/4/2025 4:30:35 PM

#### Standard Sample Data

Number	Absorbance (Abs)	Conce (mg/L)
1	0.0000	0.0000
2	0.1150	0.2000
3	0.2427	0.4000
4	0.3737	0.6000
5	0.4734	0.8000
6	0.6174	1.0000
7	0.7233	1.2000

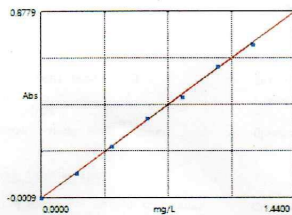
#### Standard Curve

Standard Curve Equation:  $\text{Abs} = 0.6081 \times \text{C} - 0.0009$        $R = 0.999452$

#### Measure data

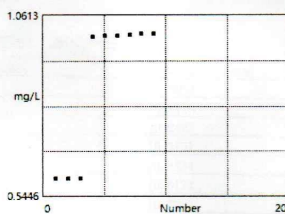
Number	Absorbance (Abs)	Conce (mg/L)	Measure time	sample name
1	0.3620	0.5968	2/10/2025 12:58:10 PM	NR 0,6 ppm
2	0.3617	0.5963	2/10/2025 12:58:55 PM	
3	0.3619	0.5967	2/10/2025 12:59:00 PM	

% R = 99,97



4	0.6088	1.0022	2/10/2025 1:00:00 PM	Kadar Limbah Laundry P50X
5	0.6107	1.0053	2/10/2025 1:00:45 PM	
6	0.6109	1.0057	2/10/2025 1:00:48 PM	
7	0.6121	1.0076	2/10/2025 1:01:18 PM	Kadar Limbah Laundry P50X
8	0.6132	1.0094	2/10/2025 1:01:34 PM	
9	0.6133	1.0096	2/10/2025 1:01:36 PM	

Measure data curve



## Report

Instrument type: P8                      Serial number:  
 Spectrum range (nm): 1                      Light switch(nm): 340.0  
 Operate mode: Common                      Operated by: Guest

### File information

File name: CKH-1 Putri Rahma      Create time: 2/12/2025 3:15:57 PM  
 DONE

Measure method: Single WL  
 Measure WL(nm): 880.0  
 Measure count: 1  
 Fitting method: Linear  
 Zero intercept: Closed  
 Calibration method: Measure standard sample  
 Standard sample count: 7  
 Threshold(mg/L) :  
 Method creator: Guest  
 Method create time: 2/4/2025 4:30:35 PM

### Standard Sample Data

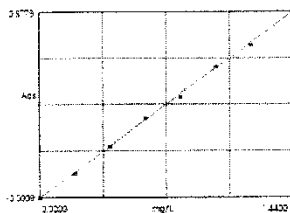
Number	Absorbance(Abs)	Conce (mg/L)
1	0.0000	0.0000
2	0.1150	0.2000
3	0.2427	0.4000
4	0.3757	0.6000
5	0.4734	0.8000
6	0.6174	1.0000
7	0.7233	1.2000

### Standard Curve

Standard Curve Equation:  $Abs=0.6081 \times C-0.0009$        $R=0.999452$

### Measure data

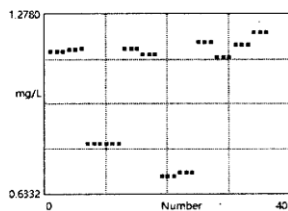
Number	Absorbance(Abs)	Conce (mg/L)	Measure time	sample name
1	0.6973	1.1476	2/12/2025 3:00:22 PM	
2	0.6974	1.1477	2/12/2025 3:00:23 PM	
3	0.6974	1.1477	2/12/2025 3:00:24 PM	CKH-5 pH Terukur (1)
4	0.7014	1.1543	2/12/2025 3:00:47	

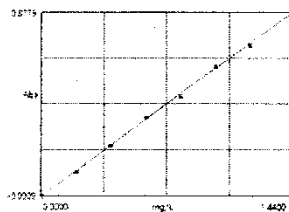


			PM	
5	0.7016	1.1546	2/12/2025 3:00:49 PM	1
5	0.7017	1.1548	2/12/2025 3:00:49 PM	CKH-5 pH Terukur (2)
13	0.7034	1.1576	2/12/2025 3:03:13 PM	
14	0.7032	1.1573	2/12/2025 3:03:15 PM	
15	0.7032	1.1573	2/12/2025 3:03:16 PM	CKH-1 pH Terukur (1) P10X
16	0.6892	1.1343	2/12/2025 3:04:11 PM	
17	0.6893	1.1344	2/12/2025 3:04:13 PM	
18	0.6892	1.1343	2/12/2025 3:04:14 PM	CKH-1 pH Terukur (2) P10X
19	0.4234	0.6977	2/12/2025 3:05:47 PM	
20	0.4235	0.6978	2/12/2025 3:05:49 PM	
21	0.4235	0.6978	2/12/2025 3:05:50 PM	CKH-1 pH 2 (1) P10X
22	0.4330	0.7134	2/12/2025 3:06:58 PM	
23	0.4330	0.7134	2/12/2025 3:06:59 PM	
24	0.4330	0.7134	2/12/2025 3:07:00 PM	CKH-1 pH 2 (2) P10X
25	0.7170	1.1799	2/12/2025 3:08:07 PM	
26	0.7170	1.1799	2/12/2025 3:08:10 PM	

			PM	
27	0.7170	1.1799	2/12/2025 3:08:11 PM	CKH-1 pH 7 (1) P10X
28	0.6840	1.1257	2/12/2025 3:09:03 PM	
29	0.6839	1.1256	2/12/2025 3:09:04 PM	
30	0.6840	1.1257	2/12/2025 3:09:05 PM	CKH-1 pH 7 (2) P10X
31	0.7102	1.1688	2/12/2025 3:10:57 PM	
32	0.7103	1.1689	2/12/2025 3:10:58 PM	
33	0.7103	1.1689	2/12/2025 3:10:59 PM	CKH-1 pH 12 (1) P10X
34	0.7373	1.2133	2/12/2025 3:13:08 PM	
35	0.7373	1.2133	2/12/2025 3:13:09 PM	
36	0.7374	1.2135	2/12/2025 3:13:11 PM	CKH-1 pH 12 (2) P10X

Measure data curve





7	0.8410	1.3836	2/11/2025 2:47:35 PM	
8	0.8410	1.3836	2/11/2025 2:47:38 PM	
9	0.8412	1.3840	2/11/2025 2:47:40 PM	CKH-5 pH 2 (1) P2X
10	0.8573	1.4104	2/11/2025 2:48:51 PM	
11	0.8572	1.4102	2/11/2025 2:48:54 PM	
12	0.8574	1.4106	2/11/2025 2:48:55 PM	CKH-5 pH 2 (2) P2X
25	0.6870	1.1307	2/13/2025 1:34:57 PM	
26	0.6870	1.1307	2/13/2025 1:34:58 PM	
27	0.6870	1.1307	2/13/2025 1:54:59 PM	CKH-5 pH 7 (1) P10X
28	0.6886	1.1333	2/13/2025 1:35:36 PM	
29	0.6887	1.1335	2/13/2025 1:35:37 PM	
30	0.6888	1.1336	2/13/2025 1:35:38 PM	CKH-5 pH 7 (2) P10X
19	0.6594	1.0853	2/11/2025 2:53:06 PM	
20	0.6597	1.0858	2/11/2025 2:53:08 PM	
21	0.6597	1.0858	2/11/2025 2:53:09 PM	CKH-5 pH 12 (1) P2X
22	0.6671	1.0980	2/11/2025 2:54:26 PM	
23	0.6672	1.0981	2/11/2025 2:54:27 PM	
24	0.6672	1.0981	2/11/2025 2:54:28 PM	CKH-5 pH 12 (2) P2X

Measure data curve

## Report

Instrument type: PS                      Serial number:  
 Spectrum range(nm): 1                      Light switch(nm): 340.0  
 Operate mode: Common                      Operated by: Guest

## File information

File name: CKH-9 DONE PUTRI                      Create time: 2/10/2025 1:33:32 PM  
 RAHMA

Measure method: Single WL  
 Measure WL(nm): 880.0  
 Measure count: 1  
 Fitting method: Linear  
 Zero intercept: Closed  
 Calibration method: Measure standard sample  
 Standard sample count: 7  
 Threshold(mg/L) :  
 Method creator: Guest  
 Method create time: 2/4/2025 4:30:35 PM

## Standard Sample Data

Number	Absorbance(Abs)	Conce (mg/L)
1	0.0000	0.0000
2	0.1150	0.2000
3	0.2427	0.4000
4	0.3757	0.6000
5	0.4734	0.8000
6	0.6174	1.0000
7	0.7233	1.2000

## Standard Curve

Standard Curve Equation:  $Abs=0.6081 \times C - 0.0009$                        $R=0.999452$

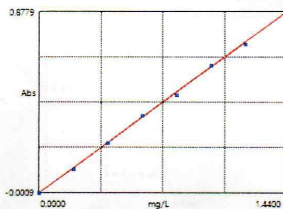
## Measure data

Number	Absorbance(Abs)	Conce (mg/L)	Measure time	sample name
1	0.0359	0.0612	2/10/2025 1:07:21 PM	CKH-9 pH Terukur 1
2	0.0360	0.0613	2/10/2025 1:07:51 PM	PKX PLOX ✓
3	0.0360	0.0613	2/10/2025 1:07:53 PM	
4	0.0342	0.0584	2/10/2025 1:09:14	CKH-9 pH Terukur 2

P2-X.

0,061267 x 10  
 = 0,61267





			PM	P2X
5	0.0341	0.0582	2/10/2025 1:09:39 PM	
6	0.0341	0.0582	2/10/2025 1:09:41 PM	
7	0.0019	0.0053	2/10/2025 1:10:49 PM	CKH-9 pH 2 (1) <del>P2X</del> <del>P10X</del>
8	0.0019	0.0053	2/10/2025 1:11:34 PM	<del>P20X</del>
9	0.0019	0.0053	2/10/2025 1:11:36 PM	
10	0.0015	0.0047	2/10/2025 1:13:08 PM	CKH-9 pH 2 (2) <del>P2X</del> <del>P10X</del>
11	0.0014	0.0045	2/10/2025 1:13:35 PM	<del>P20X</del>
12	0.0014	0.0045	2/10/2025 1:13:38 PM	
13	0.0579	0.0973	2/10/2025 1:18:54 PM	CKH-9 pH 7 (2) <del>P2X</del> <del>P10X</del>
14	0.0578	0.0971	2/10/2025 1:19:17 PM	
15	0.0578	0.0971	2/10/2025 1:19:19 PM	
16	0.0432	0.0732	2/10/2025 1:28:22 PM	CKH-9 pH 7 (1) <del>P2X</del> <del>P10X</del>
17	0.0433	0.0733	2/10/2025 1:28:28 PM	
18	0.0433	0.0733	2/10/2025 1:28:30 PM	
19	0.0270	0.0466	2/10/2025 1:29:20 PM	CKH-9 pH 12 (1) <del>P2X</del> <del>P10X</del> ✓
20	0.0271	0.0467	2/10/2025 1:30:11 PM	
21	0.0271	0.0467	2/10/2025 1:30:12 PM	
22	0.0302	0.0518	2/10/2025 1:32:20 PM	CKH-9 pH 12 (2) <del>P2X</del> <del>P10X</del> ✓
23	0.0299	0.0513	2/10/2025 1:32:45 PM	
24	0.0302	0.0518	2/10/2025 1:32:47 PM	

Measure data curve

## Report

Instrument type: P8                      Serial number:  
 Spectrum range(nm): 1                      Light switch(nm): 340.0  
 Operate mode: Common                      Operated by: Guest

### File information

File name: OPTIWASI DOSIS                      Create time: 2/17/2025 3:39:57  
                  PUTRI RAHMA                      PM

Measure method: Single WL  
 Measure WL(nm): 880.0  
 Measure count: 1  
 Fitting method: Linear  
 Zero intercept: Closed  
 Calibration method: Measure standard sample  
 Standard sample count: 7  
 Threshold(mg/L) :  
 Method creator: Guest  
 Method create time: 2/4/2025 4:30:35 PM

### Standard Sample Data

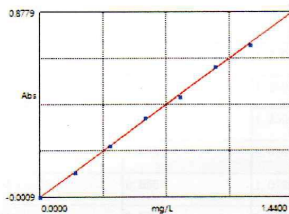
Number	Absorbance(Abs)	Conce (mg/L)
1	0.0000	0.0000
2	0.1150	0.2000
3	0.2427	0.4000
4	0.3757	0.6000
5	0.4734	0.8000
6	0.6174	1.0000
7	0.7233	1.2000

### Standard Curve

Standard Curve Equation:  $Abs = 0.6081 * C - 0.0009$                        $R = 0.999452$

### Measure data

Number	Absorbance(Abs)	Conce (mg/L)	Measure time	sample name
1	0.0846	0.1412	2/17/2025 2:52:40 PM	
2	0.0846	0.1412	2/17/2025 2:52:43 PM	
3	0.0846	0.1412	2/17/2025 2:52:44 PM	CKII-9 Dos 0.5 (1)
4	0.0783	0.1308	2/17/2025 2:55:33	

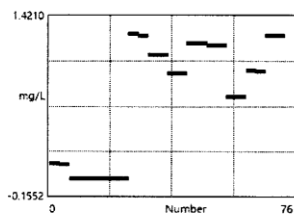


			PM	
5	0.0783	0.1308	2/17/2025 2:55:37 PM	
6	0.0783	0.1308	2/17/2025 2:55:40 PM	CKH-9 Dos 0.5 (2) X
7	0.0015	0.0047	2/17/2025 2:57:44 PM	
8	0.0015	0.0047	2/17/2025 2:57:46 PM	
9	0.0015	0.0047	2/17/2025 2:57:47 PM	CKH-9 Dos 1.0 (1) X
10	0.0019	0.0053	2/17/2025 2:58:16 PM	
11	0.0019	0.0053	2/17/2025 2:58:17 PM	
12	0.0019	0.0053	2/17/2025 2:58:19 PM	CKH-9 Dos 1.0 (2) ✓ P20x
13	0.0016	0.0048	2/17/2025 3:03:16 PM	
14	0.0017	0.0050	2/17/2025 3:03:17 PM	
15	0.0016	0.0048	2/17/2025 3:03:19 PM	CKH-9 Dos 1.5 (1) X
16	0.0006	0.0032	2/17/2025 3:04:54 PM	
17	0.0006	0.0032	2/17/2025 3:04:56 PM	
18	0.0006	0.0032	2/17/2025 3:04:57 PM	CKH-9 Dos 1.5 (2) ✓
19	0.0003	0.0027	2/17/2025 3:15:12 PM	
20	0.0004	0.0029	2/17/2025 3:15:28 PM	
21	0.0004	0.0029	2/17/2025 3:15:29 PM	CKH-9 Dos 2 (1) ✓
22	0.0002	0.0025	2/17/2025 3:16:48 PM	
23	0.0001	0.0024	2/17/2025 3:17:11 PM	
24	0.0002	0.0025	2/17/2025 3:17:13 PM	CKH-9 Dos 2 (2) ✓
25	0.7676	1.2631	2/17/2025 3:18:32 PM	
26	0.7678	1.2634	2/17/2025 3:18:34 PM	

			PM	
27	0.7678	1.2634	2/17/2025 3:18:35	CKH-5 Dos 0.5 (1)
			PM	
28	0.7599	1.2504	2/17/2025 3:20:22	
			PM	
29	0.7601	1.2507	2/17/2025 3:20:24	
			PM	
30	0.7602	1.2509	2/17/2025 3:20:25	CKH-5 Dos 0.5 (2)
			PM	
31	0.6554	1.0788	2/17/2025 3:22:04	
			PM	
32	0.6555	1.0789	2/17/2025 3:22:05	
			PM	
33	0.6554	1.0788	2/17/2025 3:22:07	CKH-5 Dos 1 (1)
			PM	
34	0.6568	1.0811	2/17/2025 3:22:41	
			PM	
35	0.6568	1.0811	2/17/2025 3:22:43	
			PM	
36	0.6569	1.0812	2/17/2025 3:22:44	CKH-5 Dos 1 (2)
			PM	
37	0.5594	0.9211	2/17/2025 3:25:38	
			PM	
38	0.5592	0.9207	2/17/2025 3:25:39	
			PM	
39	0.5592	0.9207	2/17/2025 3:25:41	CKH-5 Dos 1.5 (1)
			PM	
40	0.5598	0.9217	2/17/2025 3:25:54	
			PM	
41	0.5598	0.9217	2/17/2025 3:25:55	
			PM	
42	0.5397	0.9216	2/17/2025 3:25:56	CKH-5 Dos 1.5 (2)
			PM	
43	0.7165	1.1791	2/17/2025 3:27:19	
			PM	
44	0.7166	1.1793	2/17/2025 3:27:21	
			PM	
45	0.7165	1.1791	2/17/2025 3:27:23	CKH-5 Dos 2 (1)
			PM	
46	0.7192	1.1836	2/17/2025 3:28:18	
			PM	
47	0.7194	1.1839	2/17/2025 3:28:21	
			PM	
48	0.7191	1.1834	2/17/2025 3:28:24	CKH-5 Dos 2 (2)
			PM	
49	0.7079	1.1650	2/17/2025 3:30:50	
			PM	
50	0.7079	1.1650	2/17/2025 3:30:51	
			PM	
51	0.7081	1.1653	2/17/2025 3:30:52	CKH-1 Dos 0.5 (1)
			PM	
52	0.7088	1.1665	2/17/2025 3:31:05	
			PM	
53	0.7088	1.1665	2/17/2025 3:31:07	
			PM	
54	0.7089	1.1666	2/17/2025 3:31:08	CKH-1 Dos 0.5 (1)
			PM	
55	0.4370	0.7200	2/17/2025 3:32:39	
			PM	

56	0.4370	0.7200	2/17/2025 3:32:40 PM	
57	0.4370	0.7200	2/17/2025 3:32:41 PM	CKH-1 Dos 1 (1)
58	0.4376	0.7210	2/17/2025 3:32:57 PM	
59	0.4375	0.7208	2/17/2025 3:32:58 PM	
60	0.4375	0.7208	2/17/2025 3:33:00 PM	CKH-1 Dos 1 (2)
61	0.5737	0.9446	2/17/2025 3:34:11 PM	
62	0.5737	0.9446	2/17/2025 3:34:13 PM	
63	0.5736	0.9444	2/17/2025 3:34:14 PM	CKH-1 Dos 1.5 (1)
64	0.5727	0.9429	2/17/2025 3:34:35 PM	
65	0.5728	0.9431	2/17/2025 3:34:37 PM	
66	0.5728	0.9431	2/17/2025 3:34:38 PM	CKH-1 Dos 1.5 (2)
67	0.7610	1.2522	2/17/2025 3:35:30 PM	
68	0.7609	1.2521	2/17/2025 3:35:37 PM	
69	0.7609	1.2521	2/17/2025 3:35:38 PM	CKH-1 Dos 2 (1)
70	0.7615	1.2530	2/17/2025 3:36:18 PM	
71	0.7616	1.2532	2/17/2025 3:36:20 PM	
72	0.7616	1.2532	2/17/2025 3:36:21 PM	CKH-1 Dos 2 (2)

Measure data curve



## Report

Instrument type: P8                      Serial number:  
 Spectrum range(nm): 1              Light switch(nm): 340.0  
 Operate mode: Common              Operated by: Guest

### File information

File name: OPTIMASI WAKTU              Create time: 2/19/2025 3:21:56 PM  
 CKH-9

Measure method: Single WL  
 Measure WL(nm): 880.0  
 Measure count: 1  
 Fitting method: Linear  
 Zero intercept: Closed  
 Calibration method: Measure standard sample  
 Standard sample count: 7  
 Threshold(mg/L) :  
 Method creator: Guest  
 Method create time: 2/4/2025 4:30:35 PM

### Standard Sample Data

Number	Absorbance(Abs)	Conce (mg/L)
1	0.0000	0.0000
2	0.1150	0.2000
3	0.2427	0.4000
4	0.3757	0.6000
5	0.4734	0.8000
6	0.6174	1.0000
7	0.7233	1.2000

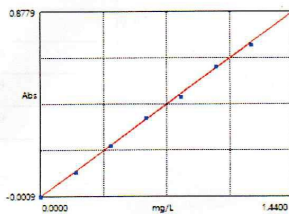
### Standard Curve

Standard Curve Equation:  $Abs=0.6081 \times C - 0.0009$                $R=0.999452$

### Measure data

Number	Absorbance (Abs)	Conce (mg/L)	Measure time	sample name
1	0.0472	0.0797	2/19/2025 2:54:15 PM	
2	0.0472	0.0797	2/19/2025 2:54:18 PM	
3	0.0471	0.0796	2/19/2025 2:54:19 PM	CKH-9 Dos 0.5 (1)
4	0.0504	0.0850	2/19/2025 2:56:00	

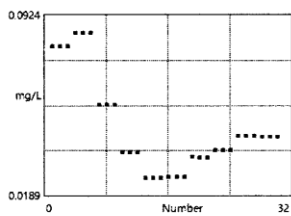
P2-x



			PM	
5	0.0504	0.0850	2/19/2025 2:56:03 PM	
6	0.0504	0.0850	2/19/2025 2:56:04 PM	CKH-9 Dos 0.5 (2) ✓ P2x
7	0.0329	0.0562	2/19/2025 2:58:09 PM	
8	0.0329	0.0562	2/19/2025 2:58:14 PM	
9	0.0329	0.0562	2/19/2025 2:58:15 PM	CKH-9 Dos 1 (1) ✓ P2x
10	0.0211	0.0369	2/19/2025 3:00:03 PM	
11	0.0212	0.0370	2/19/2025 3:00:05 PM	
12	0.0211	0.0369	2/19/2025 3:00:06 PM	CKH-9 Dos 1,5 (1) ✓ P2x
13	0.0146	0.0262	2/19/2025 3:04:03 PM	
14	0.0146	0.0262	2/19/2025 3:04:04 PM	
15	0.0146	0.0262	2/19/2025 3:04:06 PM	CKH-9 1 menit (1)
16	0.0150	0.0268	2/19/2025 3:04:55 PM	
17	0.0150	0.0268	2/19/2025 3:05:03 PM	
18	0.0150	0.0268	2/19/2025 3:05:05 PM	CKH-9 1 menit (2)
19	0.0198	0.0347	2/19/2025 3:09:02 PM	
20	0.0197	0.0346	2/19/2025 3:09:05 PM	
21	0.0197	0.0346	2/19/2025 3:09:06 PM	CKH-9 2 menit (1)
22	0.0216	0.0377	2/19/2025 3:10:08 PM	
23	0.0216	0.0377	2/19/2025 3:10:13 PM	
24	0.0216	0.0377	2/19/2025 3:10:15 PM	CKH-9 2 menit (2)
25	0.0252	0.0436	2/19/2025 3:12:36 PM	
26	0.0252	0.0436	2/19/2025 3:12:37 PM	

			PM	
27	0.0252	0.0436	2/19/2025 3:12:39 PM	CKH-9 3 menit (1)
28	0.0248	0.0429	2/19/2025 3:14:11 PM	
29	0.0248	0.0429	2/19/2025 3:14:12 PM	
30	0.0248	0.0429	2/19/2025 3:14:16 PM	CKH-9 3 menit (2)

Measure data curve





## Report

Instrument type: P8                      Serial number:  
 Spectrum range (nm): 1                      Light switch (nm): 340.0  
 Operate mode: Common                      Operated by: Guest

### File information

File name: OPTIMASI WAKTU                      Create time: 2/20/2025 3:20:26 PM

Measure method: Single WL  
 Measure WL (nm): 880.0  
 Measure count: 1  
 Fitting method: Linear  
 Zero intercept: Closed  
 Calibration method: Measure standard sample  
 Standard sample count: 7  
 Threshold (mg/L) :  
 Method creator: Guest  
 Method create time: 2/4/2025 4:30:35 PM

### Standard Sample Data

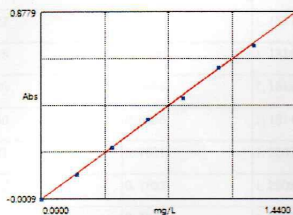
Number	Absorbance (Abs)	Conce (mg/L)
1	0.0000	0.0000
2	0.1150	0.2000
3	0.2427	0.4000
4	0.3757	0.6000
5	0.4734	0.8000
6	0.6174	1.0000
7	0.7233	1.2000

### Standard Curve

Standard Curve Equation:  $Abs = 0.6081 \times C - 0.0009$                        $R = 0.999452$

### Measure data

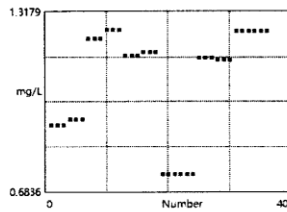
Number	Absorbance (Abs)	Conce (mg/L)	Measure time	sample name
1	0.5592	0.9207	2/20/2025 3:04:16 PM	
2	0.5592	0.9207	2/20/2025 3:04:17 PM	
3	0.5593	0.9209	2/20/2025 3:04:18 PM	CKH-5 1 menit (1)
4	0.5712	0.9405	2/20/2025 3:05:34	



			PM	
5	0.5712	0.9405	2/20/2025 3:05:35 PM	
6	0.5713	0.9406	2/20/2025 3:05:36 PM	CKH-5 1 menit (2)
7	0.7447	1.2254	2/20/2025 3:06:40 PM	
8	0.7447	1.2254	2/20/2025 3:06:41 PM	
9	0.7446	1.2253	2/20/2025 3:06:43 PM	CKH-5 2 menit (1)
10	0.7621	1.2540	2/20/2025 3:08:42 PM	
11	0.7623	1.2544	2/20/2025 3:08:43 PM	
12	0.7624	1.2545	2/20/2025 3:08:45 PM	CKH-5 2 menit (2)
13	0.7076	1.1645	2/20/2025 3:09:48 PM	
14	0.7076	1.1645	2/20/2025 3:09:49 PM	
15	0.7076	1.1645	2/20/2025 3:09:51 PM	CKH-5 3 menit (1)
16	0.7163	1.1788	2/20/2025 3:15:21 PM	
17	0.7162	1.1786	2/20/2025 3:15:22 PM	
18	0.7162	1.1786	2/20/2025 3:15:23 PM	CKH-5 3 menit (2)
19	0.4534	0.7470	2/20/2025 3:17:31 PM	
20	0.4537	0.7474	2/20/2025 3:17:33 PM	
21	0.4534	0.7470	2/20/2025 3:17:34 PM	CKH-1 1 menit (1)
22	0.4538	0.7476	2/20/2025 3:17:46 PM	
23	0.4538	0.7476	2/20/2025 3:17:48 PM	
24	0.4538	0.7476	2/20/2025 3:17:49 PM	CKH-1 1 menit (2)
25	0.7027	1.1565	2/20/2025 3:18:34 PM	
26	0.7030	1.1569	2/20/2025 3:18:35 PM	

			PM	
27	0.7031	1.1571	2/20/2025 3:18:37 PM	CKH-1 2menit (1)
28	0.6996	1.1514	2/20/2025 3:18:50 PM	
29	0.6995	1.1512	2/20/2025 3:18:51 PM	
30	0.6996	1.1514	2/20/2025 3:18:52 PM	CKH-1 2 menit (2)
31	0.7601	1.2507	2/20/2025 3:19:27 PM	
32	0.7602	1.2509	2/20/2025 3:19:29 PM	
33	0.7601	1.2507	2/20/2025 3:19:30 PM	CKH-1 3 menit (1)
34	0.7605	1.2514	2/20/2025 3:19:42 PM	
35	0.7605	1.2514	2/20/2025 3:19:44 PM	
36	0.7606	1.2516	2/20/2025 3:19:44 PM	CKH-1 3 menit (2)

Measure data curve



### Lampiran 3 Perhitungan

#### 1. Pengukuran Kadar Fosfat

- a. Larutan induk fosfat 500 mg  $\text{PO}_4\text{-P/L}$

$$\begin{aligned}\text{Massa KH}_2\text{PO}_4 &= \frac{\text{Mr KH}_2\text{PO}_4}{\text{Ar P}} \times \text{Massa P} \\ \text{Massa KH}_2\text{PO}_4 &= \frac{136 \text{ g/mol}}{31 \text{ g/mol}} \times 0,5 \text{ g} \\ \text{Massa KH}_2\text{PO}_4 &= 2,195 \text{ g}\end{aligned}$$

- b. Larutan baku fosfat 50 mg  $\text{PO}_4\text{-P/L}$

$$\begin{aligned}M_1 \cdot V_1 &= M_2 \cdot V_2 \\ 500 \cdot V_1 &= 50 \cdot 100 \text{ mL} \\ V_1 &= 10 \text{ mL}\end{aligned}$$

- c. Larutan baku fosfat 5 mg  $\text{PO}_4\text{-P/L}$

$$\begin{aligned}M_1 \cdot V_1 &= M_2 \cdot V_2 \\ 50 \cdot V_1 &= 5 \cdot 100 \text{ mL} \\ V_1 &= 10 \text{ mL}\end{aligned}$$

- d. Larutan standar fosfat 1,2 mg  $\text{PO}_4\text{-P/L}$

$$\begin{aligned}M_1 \cdot V_1 &= M_2 \cdot V_2 \\ 5 \cdot V_1 &= 1,2 \cdot 50 \text{ mL} \\ V_1 &= 12 \text{ mL}\end{aligned}$$

- e. Larutan standar fosfat 1,0 mg  $\text{PO}_4\text{-P/L}$

$$\begin{aligned}M_1 \cdot V_1 &= M_2 \cdot V_2 \\ 5 \cdot V_1 &= 1,0 \cdot 50 \text{ mL} \\ V_1 &= 10 \text{ mL}\end{aligned}$$

- f. Larutan standar fosfat 0,8 mg  $\text{PO}_4\text{-P/L}$

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$5 \cdot V_1 = 0,8 \cdot 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = 8 \text{ mL}$$

g. Larutan standar fosfat 0,6 mg PO<sub>4</sub>-P/L

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$5 \cdot V_1 = 0,6 \cdot 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = 6 \text{ mL}$$

h. Larutan standar fosfat 0,4 mg PO<sub>4</sub>-P/L

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$5 \cdot V_1 = 0,4 \cdot 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = 4 \text{ mL}$$

i. Larutan standar fosfat 0,2 mg PO<sub>4</sub>-P/L

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$5 \cdot V_1 = 0,2 \cdot 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = 2 \text{ mL}$$

## 2. Penentuan kadar fosfat limbah *laundry*

Kadar Fosfat Total = Kadar Terukur × Faktor Pengenceran

$$\text{Kadar Fosfat Total} = (1,0044 + 1,0088) \times 50$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 1,0066 \times 50$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 50,33 \text{ ppm}$$

## 3. Optimasi pH

a. CKH-1

1) pH 2

Kadar Fosfat Total = Kadar Terukur × Faktor Pengenceran

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{0,6977 + 0,7134}{2} \right) \times 10$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 7,056 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 7,056}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 85,982\%$$

2) pH 7

Kadar Fosfat Total = Kadar Terukur × Faktor Pengenceran

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{1,1799 + 1,1257}{2} \right) \times 10$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 11,528 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 11,528}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 77,095 \%$$

3) pH 10,85

Kadar Fosfat Total = Kadar Terukur × Faktor Pengenceran

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{1,1574 + 1,1343}{2} \right) \times 10$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 11,459 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 11,459}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 77,233 \%$$

4) pH 12

Kadar Fosfat Total = Kadar Terukur × Faktor Pengenceran

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{1,1688 + 1,2134}{2} \right) \times 10$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 11,911 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 11,911}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 76,334 \%$$

b. CKH-5

1) pH 2

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \text{Kadar Terukur} \times \text{Faktor Pengenceran}$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{1,3837 + 1,4104}{2} \right) \times 10$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 13,971 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 13,971}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 72,242 \%$$

2) pH 7

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \text{Kadar Terukur} \times \text{Faktor Pengenceran}$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{1,1307 + 1,1334}{2} \right) \times 10$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 11,321 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 11,321}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 77,507\%$$

3) pH 10,85

Kadar Fosfat Total = Kadar Terukur × Faktor Pengenceran

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{1,1477 + 1,1546}{2} \right) \times 10$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 11,512 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 11,512}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 77,128\%$$

4) pH 12

Kadar Fosfat Total = Kadar Terukur × Faktor Pengenceran

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{1,0856 + 1,0981}{2} \right) \times 10$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 10,919 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 10,919}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 78,306 \%$$



c. CKH-9

1) pH 2

Kadar Fosfat Total = Kadar Terukur × Faktor Pengenceran

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{0,0053 + 0,0046}{2} \right) \times 20$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 0,099 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 0,099}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 99,803 \%$$

2) pH 7

Kadar Fosfat Total = Kadar Terukur × Faktor Pengenceran

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{0,0972 + 0,0733}{2} \right) \times 10$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 0,852 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 0,852}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 98,307 \%$$

3) pH 10,85

Kadar Fosfat Total = Kadar Terukur × Faktor Pengenceran

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{0,0613 + 0,0583}{2} \right) \times 10$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 0,598 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 0,598}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 98,812 \%$$

#### 4) pH 12

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \text{Kadar Terukur} \times \text{Faktor Pengenceran}$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{0,0467 + 0,0516}{2} \right) \times 10$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 0,492 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 0,492}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 99,023 \%$$

#### 4. Optimasi Dosis Koagulan

##### a. CLH-1

##### 1) Dosis 0,5 g

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \text{Kadar Terukur} \times \text{Faktor Pengenceran}$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{1,1651 + 1,1665}{2} \right) \times 10$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 11,658 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 11,658}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 76,837 \%$$

2) Dosis 1 g

Kadar Fosfat Total = Kadar Terukur × Faktor Pengenceran

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{0,7200 + 0,7209}{2} \right) \times 10$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 7,204 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 7,204}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 85,686\%$$

3) Dosis 1,5 g

Kadar Fosfat Total = Kadar Terukur × Faktor Pengenceran

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{0,9446 + 0,9431}{2} \right) \times 10$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 9,439 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 9,439}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 81,247\%$$

## 4) Dosis 2 g

Kadar Fosfat Total = Kadar Terukur × Faktor Pengenceran

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{1,2521 + 1,2532}{2} \right) \times 10$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 12,527 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 12,527}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 75,111 \%$$

## b. CKH-5

## 1) Dosis 0,5 g

Kadar Fosfat Total = Kadar Terukur × Faktor Pengenceran

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{1,2633 + 1,2507}{2} \right) \times 10$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 12,570 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 12,570}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 75,025 \%$$

## 2) Dosis 1 g

Kadar Fosfat Total = Kadar Terukur × Faktor Pengenceran

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{1,0788 + 1,0811}{2} \right) \times 10$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 10,800 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 10,800}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 78,542 \%$$

3) Dosis 1,5 g

Kadar Fosfat Total = Kadar Terukur × Faktor Pengenceran

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{0,9207 + 0,9217}{2} \right) \times 10$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 9,212 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 9,212}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 81,697 \%$$

4) Dosis 2 g

Kadar Fosfat Total = Kadar Terukur × Faktor Pengenceran

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{1,1792 + 1,1836}{2} \right) \times 10$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 11,814 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 11,814}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 76,527 \%$$

c. CKH-9

1) Dosis 0,5 g

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \text{Kadar Terukur} \times \text{Faktor Pengenceran}$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{0,0797 + 0,0850}{2} \right) \times 2$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 0,1647 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 0,1647}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 99,673 \%$$

2) Dosis 1 g

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \text{Kadar Terukur} \times \text{Faktor Pengenceran}$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = (0,0053 \times 20) + (0,0562 \times 2)$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 0,1092 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 0,1092}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 99,783 \%$$

3) Dosis 1,5 g

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \text{Kadar Terukur} \times \text{Faktor Pengenceran}$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = (0,0032 \times 20) + (0,0369 \times 2)$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 0,0689 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 0,0689}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 99,863 \%$$

4) Dosis 2 g

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \text{Kadar Terukur} \times \text{Faktor Pengenceran}$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{0,0029 + 0,0025}{2} \right) \times 20$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 0,0540 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 0,0540}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 99,893 \%$$

5. Optimasi Waktu Koagulasi

a. CKH-1

1) Waktu 1 Menit

Kadar Fosfat Total = Kadar Terukur × Faktor Pengenceran

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{0,7471 + 0,7476}{2} \right) \times 10$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 7,474 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 7,474}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 85,151\%$$

## 2) Waktu 2 Menit

Kadar Fosfat Total = Kadar Terukur × Faktor Pengenceran

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{1,1568 + 1,1514}{2} \right) \times 10$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 11,541 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 11,541}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 77,069 \%$$

## 3) Waktu 3 Menit

Kadar Fosfat Total = Kadar Terukur × Faktor Pengenceran

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{1,2507 + 1,2524}{2} \right) \times 10$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 12,516 \text{ ppm}$$



$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 12,516}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 75,133 \%$$

b. CKH-5

1) Waktu 1 Menit

Kadar Fosfat Total = Kadar Terukur × Faktor Pengenceran

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{0,9207 + 0,9405}{2} \right) \times 10$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 9,306 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 9,306}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 81,510 \%$$

2) Waktu 2 Menit

Kadar Fosfat Total = Kadar Terukur × Faktor Pengenceran

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{1,2254 + 1,2543}{2} \right) \times 10$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 12,399 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 12,399}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 75,366 \%$$

### 3) Waktu 3 Menit

Kadar Fosfat Total = Kadar Terukur × Faktor Pengenceran

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{1,1645 + 1,1786}{2} \right) \times 10$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 11,716 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 11,716}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 76,723 \%$$

### c. CKH-9

#### 1) Waktu 1 Menit

Kadar Fosfat Total = Kadar Terukur × Faktor Pengenceran

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{0,0262 + 0,0268}{2} \right) \times 2$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 0,0530 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 0,0530}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 99,895 \%$$

#### 2) Waktu 2 Menit

Kadar Fosfat Total = Kadar Terukur × Faktor Pengenceran

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{0,0346 + 0,0377}{2} \right) \times 2$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 0,0723 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 0,0723}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 99,856 \%$$

### 3) Waktu 3 Menit

Kadar Fosfat Total = Kadar Terukur × Faktor Pengenceran

$$\text{Kadar Fosfat Total} = \left( \frac{0,0436 + 0,0429}{2} \right) \times 2$$

$$\text{Kadar Fosfat Total} = 0,0865 \text{ ppm}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Kadar Fosfat Awal} - \text{Kadar Fosfat Akhir}}{\text{Kadar Fosfat Awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{50,33 - 0,0865}{50,33} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penurunan} = 99,828 \%$$

## Lampiran 4 Dokumentasi

1. Pengujian Turbiditas Sampel Limbah *Laundry* Sintetik dan pH Terukur



2. Pengujian Kadar Fosfat Semua Sampel Setelah Diberikan Agen Koagulan.













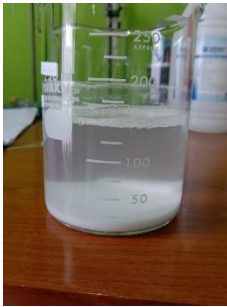




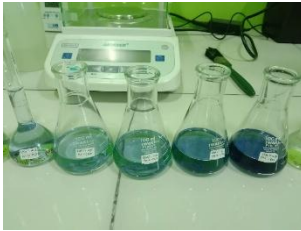




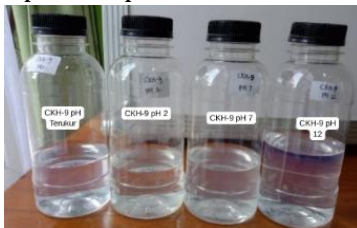
### 3. Proses Koagulasi



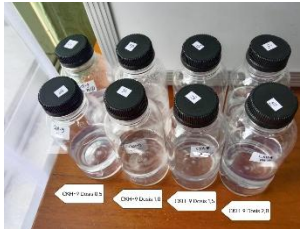
#### 4. Pengujian Kadar Fosfat



#### 5. Hasil Koagulasi - Optimasi pH



- Optimasi Dosis



- Optimasi Waktu



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

### A. Identitas Diri

Nama : Putri Rahmawati  
Tempat, tanggal lahir : Grobogan, 25 September 2003  
NIM : 2108036074  
Alamat : Desa Sumberagung, kec.  
Ngaringan, kab. Grobogan,  
Jawa Tengah.  
No. Telepon : 088216471069  
Email : putrirahma2593@gmail.com

### B. Riwayat Pendidikan

1. SDN 3 Sumberagung
2. SMPN 1 Todanan
3. SMAN 1 Blora