

# Ekstraksi Pektin dari Limbah Kulit Jeruk Mandarin Sebagai Biokoagulan Pengolahan Limbah Cair Pulp dan Industri Tahu

Aditia Adiati Humairoh\*, Cindi Ramayanti, Erwana Dewi

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang

\*Koresponden email: aditiahumairo010703@gmail.com

Diterima: 1 April 2026

Disetujui: 7 April 2026

## Abstract

The disposal of industrial liquid waste into water bodies such as rivers without prior treatment can become a serious problem affecting aquatic ecosystems and public health. To address this, prior to being dumped into bodies of water, liquid waste must be treated. This study aims to create biocoagulants using raw materials from citrus mandarin peel waste that is extracted to obtain its pectin compounds. The biocoagulant is extracted using variations of acid solvents ( $\text{HNO}_3$  and  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 0.1 N with varying extraction pH (1.5; 2; 2.5; 3; and 3.5). The resulting filtrate is precipitated using 96% ethanol to isolate pectin. After that, the pectin is dried for eight hours at  $40^\circ\text{C}$ . The best biocoagulant sample will be applied to liquid waste samples from the pulp and tofu industries. The research results indicate that the best variation is the bio-coagulant with the highest pectin acid content, which is found in sample 4 at 47.16%; sample 6 at 48.57%; sample 11 at 42.23%; and sample 20 at 55.25%. The performance of the biocoagulant from orange peel waste is more efficient towards pulp wastewater, with the highest efficiency in the biocoagulant sample 20 at 66.99%.

**Keywords:** *pectin, orange peel, biocoagulant, acid extraction, liquid waste*

## Abstrak

Pembuangan limbah cair industri ke badan air seperti sungai tanpa pengolahan terlebih dahulu dapat menjadi permasalahan serius yang berdampak terhadap ekosistem perairan dan kesehatan masyarakat. Guna menanggulangi limbah sebelum dibuang ke badan air, limbah cair harus diolah. Penelitian ini bertujuan untuk pembuatan biokoagulan dengan bahan baku dari limbah kulit jeruk mandarin yang diekstraksi senyawa pektinnya. Biokoagulan diekstraksi dengan variasi pelarut asam ( $\text{HNO}_3$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 0,1 N dengan variasi pH ekstraksi (1,5; 2; 2,5; 3; dan 3,5). Filtrat yang dihasilkan diendapkan menggunakan etanol 96% untuk mengisolasi pektin. Setelah itu, pektin dikeringkan selama delapan jam pada suhu  $40^\circ\text{C}$ . Sampel biokoagulan terbaik akan dilakukan pengaplikasian pada sampel limbah cair pulp dan industri tahu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi terbaik adalah biokoagulan yang memiliki kadar asam galakturonat tertinggi yaitu pada sampel ke-4 sebesar 47,16%; pada sampel ke-6 sebesar 48,57%; pada sampel ke-11 sebesar 42,23%; dan pada sampel ke-20 sebesar 55,25%. Kinerja biokoagulan dari limbah kulit jeruk lebih efisien terhadap air limbah pulp, efisiensi tertinggi pada biokoagulan sampel ke-20 sebesar 66,99%.

**Kata Kunci:** *pektin, kulit jeruk, biokoagulan, ekstraksi asam, limbah cair*

## 1. Pendahuluan

Industri pulp mencakup pemecahan serat secara massal dari bahan tanaman yang mengandung lignoselulosa, baik melalui metode mekanik maupun kimia [1]. Salah satu perusahaan yang mengkhususkan diri dalam produksi pulp adalah PT Tanjungenim Lestari *Pulp and Paper*. Setiap hari, PT Tanjungenim Lestari *Pulp and Paper* (TELPP) menghasilkan limbah dalam bentuk cair, padat, dan gas sebagai akibat dari operasi pabrik pulpnya.

PT Tanjungenim Lestari *Pulp and Paper* memiliki fasilitas pengolahan limbahnya sendiri, yang dikenal sebagai pengolahan efluen, untuk menangani limbah cair yang dihasilkan oleh produsen yang tidak dapat didaur ulang lagi. Ini menjamin bahwa limbah diproses sesuai dengan peraturan pemerintah yang berlaku [2]. Namun, limbah cair masih mengandung lignin yang menyebabkan air tersebut perlu

dijernihkan lebih lanjut. Ada beberapa metode untuk memisahkan lignin dari lindi hitam, seperti isolasi lignin dengan koagulasi-flokulasi, eksperimen fenton dan adsorpsi [3].

Menggunakan koagulan adalah salah satu teknik isolasi lignin yang akan digunakan dalam penelitian ini. Untuk membuat partikel koloidal yang sulit dihilangkan mengendap, sebuah bahan kimia yang dikenal sebagai koagulan ditambahkan ke dalam air. Koagulan digunakan dalam proses koagulasi untuk menstabilkan muatan dan meninggalkan hanya hubungan *Van der Waals* (menarik) antara partikel dengan memampatkan atau menghilangkan lapisan difusi [4].

Limbah cair dari usaha produksi tahu, selain dari PT TELPP, juga dapat mencemari lingkungan jika tidak diolah sebelum dibuang ke tempat pembuangan akhir. Industri tahu adalah salah satu usaha kecil dan menengah yang berkembang paling cepat. Karena produksi tahu masih dilakukan dengan cara tradisional di Indonesia, tidak ada mekanisme yang tersedia untuk mengontrol cara pembuangan limbah produksi tahu [5]. Air limbah tahu memiliki tingkat *Total Suspended Solids* (TSS) yang tinggi. Jika kontaminan seperti bahan organik dan tingkat TSS yang tinggi dilepaskan langsung ke saluran air tanpa diolah terlebih dahulu, mereka dapat memiliki efek merugikan dan bahkan fatal pada ekosistem akuatik. Ketika padatan tersuspensi (TSS) masuk ke dalam air, mereka dapat menghasilkan kekeruhan, yang menurunkan laju fotosintesis fitoplankton dan tanaman akuatik lainnya, mengurangi produktivitas primer perairan [6].

Koagulasi/flokulasi adalah proses menambahkan bahan kimia koagulan ke partikel kecil yang tidak dapat mengendap karena gravitasi, sehingga menyebabkan mereka berkumpul menjadi partikel yang lebih besar. Koagulan yang sering digunakan dalam konsep pengolahan air mencakup alum ( $Al_2(SO_4)_3$ ), fero sulfat ( $FeSO_4$ ), natrium aluminat ( $NaAlO_2$ ), feri sulfat ( $Fe_2(SO_4)_3$ ), fero klorida ( $FeCl_2$ ), dan feri klorida ( $FeCl_3$ ) [7]. Namun, ketika digunakan dalam proses pengolahan air limbah, koagulan berbasis kimia ini dapat meninggalkan residu logam yang dapat mencemari air.

Sebagai alternatifnya, koagulan yang digunakan dalam penelitian ini adalah zat alami yang berasal dari kulit jeruk mandarin, yang dikenal sebagai biokoagulan. Kulit jeruk mengandung senyawa pektin yang memiliki sifat penggumpalan dan dapat membantu memisahkan partikel tersuspensi dalam air limbah [8]. Pektin mengandung gugus asam galakturonat bermuatan negatif/anion ( $COO^-$ ) yang dapat mengikat ikatan positif (kation) seperti  $Ca^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  [9].

## 2. Metode Penelitian

### *Waktu dan Tempat Penelitian*

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang. Penelitian ini dilakukan selama kurang lebih 3 (tiga) bulan.

### *Bahan dan Alat*

Bahan dan Alat yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 1** berikut ini:

**Tabel 1.** Bahan dan Alat yang Digunakan untuk Penelitian

No.	Alat dan Bahan	Kuantitas
1.	Kulit Jeruk	2 kg
2.	$HNO_3$	0,1 N dan 0,2 N
3.	$H_2SO_4$	0,1 N dan 0,2 N
4.	Akuades	15 L
5.	Etanol 96%	5 L
6.	NaOH	0,1 N
7.	Indikator Fenol Merah	50 mL
8.	Sampel Limbah	5 L
9.	Kaca Arloji	1
10.	Erlenmeyer	6
11.	Neraca analitik	1
12.	Oven listrik	1
13.	Crusher	1
14.	Hotplate	2
15.	Kain saring	2
16.	Ayakan 60 mesh	1
17.	Pipet volume & bulb	2

Sumber: Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya, (2025)

### Prosedur Penelitian

#### 1) Pembuatan Biokoagulan [10]

##### a) Ekstraksi Pektin

Kulit jeruk dicuci dengan air mengalir dan setelah dicuci dengan air mengalir, kulit jeruk dikeringkan dalam oven yang diatur pada suhu 55°C selama sepuluh jam. Kulit jeruk yang sudah kering kemudian dihancurkan menggunakan *crusher*. Setelah halus kulit jeruk ditimbang sebanyak 50 g. HNO<sub>3</sub> pekat diencerkan menggunakan akuades sampai konsentrasi 0,1 N. Larutan tersebut ditambahkan ke dalam masing-masing akuades volume 200 ml sampai mendapatkan variasi pH (1,5; 2; 2,5; 3; 3,5). Kulit jeruk dan akuades yang telah diatur variasi pH-nya dimasukkan ke dalam gelas kimia 500 ml dengan perbandingan kulit jeruk : akuades yaitu 1 : 4. Lalu campuran tersebut dipanaskan di atas *hotplate* pada variasi suhu 60°C dan 95°C selama 45 menit. Campuran yang sudah dipanaskan selama 45 menit disaring dengan kain saring untuk mengambil ekstrak pektin yang terkandung dalam filtrat. Filtrat yang didapat dipanaskan kembali sampai volumenya setengah menyusut.

##### b) Pengendapan (Isolasi Pektin)

Setelah membiarkan filtrat sampai pada suhu ruang, etanol 96% yang telah diasamkan dengan menambahkan 2 mililiter asam pekat (HNO<sub>3</sub> dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) per liter etanol ditambahkan untuk mengendapkan pektin. Rasio filtrat terhadap etanol adalah 1:1,5 dan pengendapan berlangsung selama lima belas jam. Untuk memisahkan endapan pektin dari filtrat, digunakan kertas saringan untuk menyaring endapan pektin yang dihasilkan.

##### c) Pencucian

Etanol 96% digunakan untuk mencuci endapan pektin yang terbentuk. Kertas saring kemudian digunakan untuk menyaring endapan pektin.

##### d) Pengeringan

Selama 8 jam, pektin basah yang dihasilkan dikeringkan dalam oven yang diatur pada suhu 40°C. Saringan 60 mesh digunakan untuk menyaring pektin kering setelah dihancurkan dengan alu.

#### 2) Karakterisasi Biokoagulan

##### a) Perhitungan persen rendemen

Berat kulit jeruk kering setelah di oven dan berat produk akhir biokoagulan dilakukan pencatatan.

##### b) Penentuan kadar air

Berat wadah kosong ditimbang dan dicatat sebagai (W), kemudian mengisi 0,3 gr biokoagulan dan dicatat sebagai berat sebelum dikeringkan (W<sub>a</sub>). Dinginkan dalam desikator setelah di-oven pada 100°C selama 4 jam, kemudian catat berat kering (W<sub>b</sub>).

##### c) Penentuan kadar abu

Setelah dikeringkan krusibel porselen pada suhu 600°C di dalam oven dan didinginkan dalam desikator, berat wadah kosong (W<sub>2</sub>) dicatat. 0,5 gram biokoagulan ditambahkan ke dalam porselen, yang kemudian dipanaskan pada suhu dan durasi yang sama. Setelah itu didinginkan, dan berat wadah beserta biokoagulan (W<sub>1</sub>) dicatat.

##### d) Penentuan berat ekuivalen

40 ml air suling dengan 1 g NaCl dan 2 ml etanol 96% digunakan untuk melarutkan 0,5 g biokoagulan. Lima tetes indikator fenol merah kemudian ditambahkan, dan campuran tersebut dititrasi dengan larutan NaOH 0,1 N hingga berwarna merah jambu. Volume titran diukur dalam mililiter NaOH.

##### e) Penentuan kadar metoksil

Larutan netral dari perhitungan berat ekuivalen dicampurkan dengan 25 mililiter larutan NaOH 0,2 N. Setelah itu, larutan tersebut diaduk dan dibiarkan dalam keadaan tertutup selama setengah jam. Lima tetes indikator fenol merah kemudian ditambahkan, bersama dengan 25 mililiter larutan HNO<sub>3</sub> 0,2 N. Larutan NaOH 0,1 N digunakan untuk titrasi.

##### f) Penentuan kadar asam galakturonat

Jumlah asam galakturonat ditentukan menggunakan milliekuivalen NaOH yang berasal dari perhitungan BE (berat ekuivalen) dan kandungan metoksil.

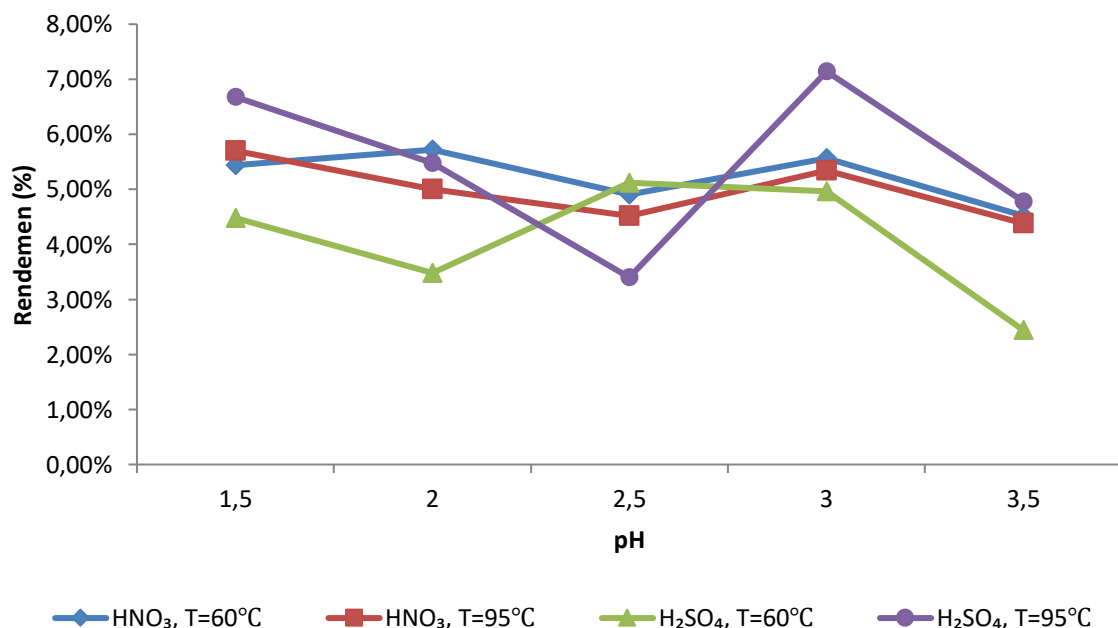
- g) Penentuan derajat esterifikasi  
 Kandungan metoksil dan asam galakturonat yang diperoleh dapat digunakan untuk menghitung derajat esterifikasi (DE) pektin.
- 3) Proses Koagulasi  
 Sebelum air sampel dilakukan treatment, dilakukan analisa parameter awal terlebih dahulu. Sampel limbah dilakukan penyaringan untuk memisahkan partikel berukuran besar. Sebanyak 250 ml sampel limbah dimasukkan ke dalam masing-masing gelas kimia. Biokoagulan dihitung dan ditimbang dosis optimumnya berdasarkan parameter awal TSS. Biokoagulan yang sudah ditimbang, dimasukkan ke dalam air sampel. Sampel dilakukan pengadukan dengan alat *jar test* dengan kecepatan tinggi selama 5 menit, diikuti dengan pengadukan lambat selama 30 menit. Sampel diendapkan selama 60 menit. Lalu dilakukan pencatatan dan analisa data yang didapat dari hasil penelitian.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini, dilakukan pembuatan biokoagulan dari pektin hasil ekstraksi kulit jeruk manis dengan variasi pelarut asam. Produk dalam bentuk bubuk kering yang selanjutnya digunakan untuk pengolahan air limbah pulp alkali sewer dan limbah cair dari proses industri tahu rumah tangga. Penelitian ini bermaksud untuk mendapatkan produk biokoagulan yang memenuhi standar IPPA (*International Pectin Producers Association*). Fokus pembahasan ini ditekankan pada hasil analisa karakterisasi biokoagulan dan pengaplikasiannya pada air limbah.

#### Rendemen

Rendemen adalah perbandingan antara hasil produk akhir dengan jumlah bahan baku yang digunakan, yang dinyatakan dalam bentuk persentase. Hasil perbandingannya dilihat pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Grafik Nilai Rendemen

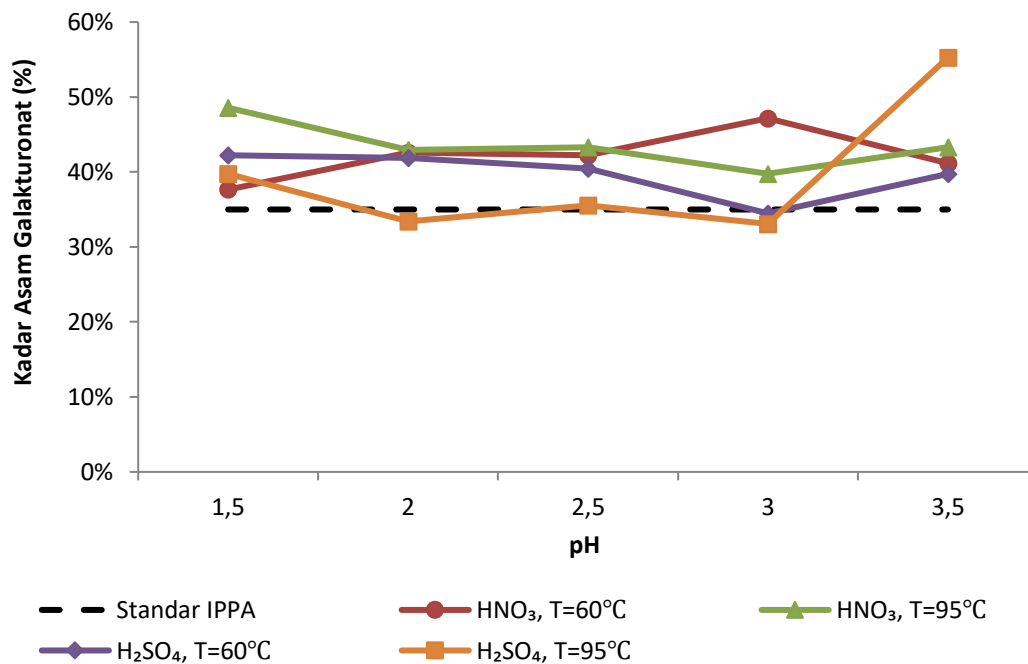
Berdasarkan grafik nilai rendemen di atas, hasil rendemen tertinggi diperoleh pada sampel biokoagulan ke-2, ke-6, ke-16 dan ke-19. Perolehan rendemen pada sampel ke-2 yaitu sebesar 5,72% dengan variasi pelarut asam nitrat 0,1 N pada suhu 60°C variasi pH 2. Perolehan rendemen pada sampel ke-6 yaitu sebesar 5,70% dengan variasi pelarut asam nitrat 0,1 N pada suhu 95°C variasi pH 1,5. Perolehan rendemen pada sampel ke-16 yaitu sebesar 6,68% dengan variasi pelarut asam sulfat 0,1 N pada suhu 95°C variasi pH 1,5. Perolehan rendemen paling tinggi diperoleh pada sampel ke-19 yaitu sebesar 7,14% dengan variasi pelarut asam sulfat 0,1 N pada suhu 95°C variasi pH 3. Dari penelitian ini, jika dirata-ratakan rendemen yang dihasilkan dari ekstraksi kulit jeruk mandarin (*Citrus reticulata*) adalah sekitar 5%.

Pada grafik nilai rendemen tersebut, suatu titik dimana pelarutnya sama yaitu  $H_2SO_4$  dengan variasi pH yang sama yaitu 2,5 tetapi suhunya berbeda. Rendemen yang tinggi pada variasi suhu rendah ( $60^\circ C$ ) sedangkan pada suhu tinggi ( $95^\circ C$ ) rendemen yang dihasilkan lebih rendah. Rendemen yang diperoleh dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, terutama kondisi ekstraksi seperti suhu larutan pelarut. Pektin dari sel kulit jeruk mungkin lebih cepat larut ke dalam larutan di bawah pengaturan suhu ekstraksi yang tinggi. Di sisi lain, pemecahan pektin yang disebabkan oleh suhu yang sangat tinggi juga dapat mempengaruhi jumlah dan kualitas pektin yang dihasilkan. Ini sebanding dengan penelitian yang dilakukan oleh [11], dimana rendemen tertinggi diperoleh pada suhu  $75^\circ C$  yaitu 20,48% sedangkan pada suhu  $85^\circ C$  dan  $95^\circ C$  rendemen mengalami penurunan yaitu 10,73% dan 7,05%.

Selain itu, pH larutan juga berperan penting dalam proses ekstraksi. Pektin memiliki sifat yang sangat dipengaruhi oleh pH, pH yang rendah dapat membantu dalam proses ekstraksi, sedangkan peningkatan pH cenderung menyebabkan penurunan rendemen pektin. Hal ini sesuai dengan pernyataan [12] yang menyatakan bahwa peningkatan pH larutan pengeksrak cenderung menyebabkan penurunan rendemen.

#### Kadar Asam Galakturonat

Kemurnian pektin dan kemampuannya untuk mengendapkan bahan yang tersuspensi ditunjukkan oleh jumlah asam galakturonat yang tinggi, yang juga mempengaruhi kualitas biokoagulan. Menurut regulasi IPPA (*International Pectin Producers Association*) [13], jumlah asam galakturonat harus minimal 35%. Penentuan kadar asam galakturonat dihitung dengan metode titrasi menggunakan NaOH yang merupakan perolehan dari penentuan berat ekuivalen dan kadar metoksil.



Gambar 2. Grafik Kadar Asam Galakturonat

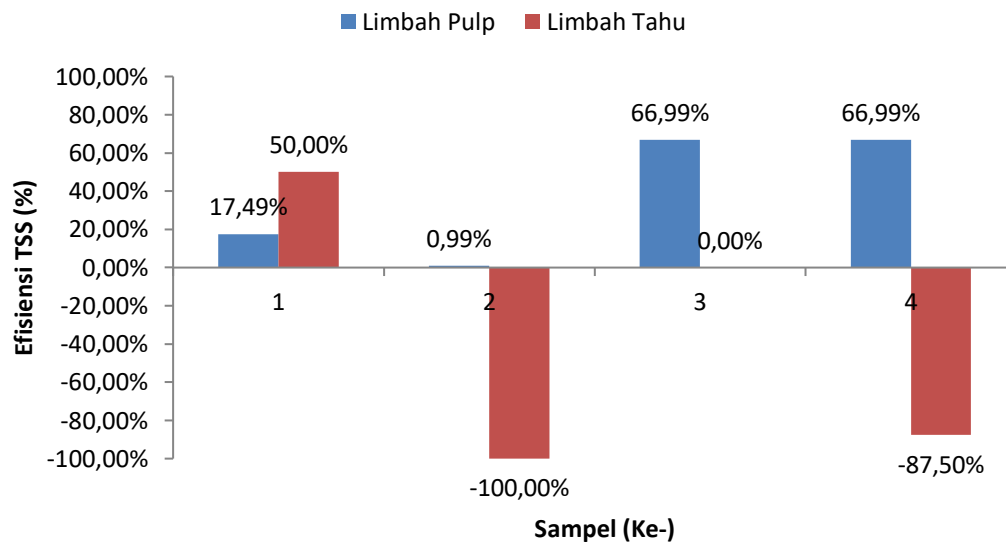
Berdasarkan **Gambar 2** di atas, kadar asam galakturonat biokoagulan tertinggi diantaranya pada sampel ke-20 dengan variasi pelarut asam sulfat 0,1 N suhu ekstraksi  $95^\circ C$  variasi pH 3,5 yaitu sebesar 55,25%. Pada sampel ke-4 dengan variasi pelarut asam nitrat 0,1 N pada suhu  $60^\circ C$  variasi pH 3 memiliki kadar asam galakturonat sebesar 47,16%. Pada sampel ke-6 dengan variasi pelarut asam nitrat 0,1 N pada suhu  $95^\circ C$  variasi pH 1,5 memiliki kadar asam galakturonat sebesar 48,57%. Pada sampel ke-11 dengan variasi pelarut asam sulfat 0,1 N pada suhu  $60^\circ C$  variasi pH 1,5 memiliki kadar asam galakturonat sebesar 42,23%.

Pada sampel ke-14, 17, dan 19, kadar asam galakturonat berada di bawah 35%, yaitu pada sampel ke-14 dengan variasi pelarut asam sulfat 0,1 N suhu ekstraksi  $60^\circ C$  variasi pH 3 kadar asam galakturonat sebesar 34,49%. Pada sampel ke-17 dengan variasi pelarut asam sulfat 0,1 N pada suhu  $95^\circ C$  variasi pH 2 memiliki kadar asam galakturonat sebesar 33,43%. Pada sampel ke-19 dengan variasi pelarut asam sulfat

0,1 N pada suhu 95°C variasi pH 3 memiliki kadar asam galakturonat sebesar 33,03%. Ketiga sampel tersebut berada tidak jauh di bawah batas yang diizinkan IPPA. Hal ini dapat disebabkan oleh waktu ekstraksi yang kurang lama dan laju difusi masih rendah, sehingga banyak pektin yang masih tertinggal di dalam kulit jeruk. Sesuai dengan pernyataan [14] dalam penelitian yang telah dilakukannya, karena protopektin terhidrolisis menjadi pektin, yang komponen utamanya adalah D-galakturonat, jumlah asam galakturonat meningkat seiring dengan meningkatnya suhu dan waktu ekstraksi.

#### Kinerja Biokoagulan Terhadap TSS Limbah Cair Pulp dan Tahu

TSS (*Total Suspended Solids*) adalah jumlah total padatan tersuspensi dalam suatu sampel cairan, yang tidak larut dan dapat dipisahkan dengan penyaringan menggunakan saringan tertentu (biasanya berukuran 1 mikron). Pengukuran TSS dilakukan menggunakan metode gravimetri dengan kertas saring (menyaring, mengeringkan, lalu menimbang). TSS yang tinggi dapat memperkeruh air dan mengurangi cahaya yang masuk sehingga mengganggu fotosintesis organisme yang ada di air.



Gambar 3. Grafik Kinerja Biokoagulan

Berdasarkan **Gambar 3** pada grafik perbandingan kinerja biokoagulan terhadap TSS air limbah, pada sampel pertama air limbah pulp efisiensinya adalah sebesar 17,49% sedangkan pada limbah tahu efisiensinya adalah sebesar 50%. Pada sampel kedua efisiensi TSS pada limbah cair pulp adalah sebesar 0,99% sedangkan pada air limbah tahu adalah sebesar -100% (penurunan efisiensi). Pada sampel ketiga efisiensi TSS limbah pulp sebesar 66,99% sedangkan pada limbah cair tahu sebesar 0% (tidak ada perubahan). Pada sampel keempat limbah cair pulp efisiensi TSS sebesar 66,99% sedangkan pada limbah cair tahu efisiensi sebesar -87,50% (penurunan efisiensi).

Dapat dianalisa bahwa pada sampel kedua, ketiga, dan keempat pada limbah cair tahu mengalami penurunan efisiensi, artinya biokoagulan dari ekstraksi kulit jeruk mandarin terhadap TSS air limbah lebih efisien pada air limbah pulp, sedangkan pada air limbah tahu efisiensi TSS (*Total Suspended Solids*) mengalami penurunan yang menyebabkan air limbah makin keruh. Hal ini disebabkan karena air limbah tahu banyak mengandung muatan-muatan negatif [15]. Apabila bertemu dengan biokoagulan pektin yang juga memiliki muatan negatif ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ) maka akan terjadi tolak-menolak yang menyebabkan padatan tersuspensi sulit diendapkan. Sedangkan limbah pulp yang mengandung ikatan positif ( $\text{Na}^+$ ) dapat berikatan secara langsung membentuk ikatan ( $-\text{CH}_3\text{COONa}$ ) yang membuat endapan pada sampel limbah.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dibahas, maka didapatkan kesimpulan bahwa variasi terbaik biokoagulan dari ekstraksi kulit jeruk manis mandarin dari aspek kadar asam galakturonatnya yaitu pada sampel ke-4 adalah biokoagulan dengan variasi pelarut asam nitrat 0,1 N pada suhu ekstraksi 60°C variasi pH 3 sebesar 47,16%. Sampel ke-6 adalah biokoagulan dengan variasi pelarut asam nitrat 0,1 N pada suhu ekstraksi 95°C variasi pH 1,5 sebesar 48,57%. Sampel ke-11 adalah biokoagulan dengan variasi pelarut

asam sulfat 0,1 N pada suhu ekstraksi 60°C variasi pH 1,5 sebesar 42,23%. Sampel ke-11 adalah biokoagulan dengan variasi pelarut asam sulfat 0,1 N pada suhu ekstraksi 95°C variasi pH 3,5 sebesar 55,25%. Biokoagulan lebih efektif bekerja terhadap air limbah pulp dengan efisiensi tertinggi sebesar 66,99% yang mampu menurunkan TSS sesuai dengan KEP-51/MENLH/10/1995 Tentang Baku Mutu Limbah Cair.

## 5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan dari Politeknik Negeri Sriwijaya dan Universitas Serambi Mekkah Indonesia yang telah memberikan kesempatan untuk mempublikasikan karya ini. Semoga publikasi ini dapat memberikan kontribusi positif bagi pembaca, peneliti, serta menjadi bagian dari upaya bersama dalam meningkatkan mutu dan relevansi ilmu pengetahuan.

## 6. Referensi

- [1] Putri, Anisa Helmilia, N. H. Hasibuan, and F. Y. Hawari. "Kajian Industri Pulp dan Kertas di Indonesia." *OSF* 5.2 (2019): 79-88.
- [2] Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: Kep-51/MENLH/10/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri.
- [3] Sari, A. A., & Sudarno, S. (2019). Integrasi Pengolahan Air Limbah Lindi Hitam dengan COD dan TSS Tinggi dari Proses Pembuatan Bioetanol. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(1), 100. <https://doi.org/10.14710/jil.17.1.100-106>
- [4] Prihatinningtyas. (2013). Natural Coagulant Application from Corn Flour In Clean Water Treatment. *Jurnal Teknosains*, 2(2), 1–26.
- [5] Yudhistira, B., Andriani, M., & Utami, R. (2018). Karakterisasi: Limbah Cair Industri Tahu Dengan Koagulan Yang Berbeda (Asam Asetat Dan Kalsium Sulfat). Caraka Tani: *Journal of Sustainable Agriculture*, 31(2), 137. <https://doi.org/10.20961/carakatani.v31i2.11998>
- [6] Yulianto, R., Prihanto, R. L., Redjeki, S., & Chempro, I. (2023). Penurunan Kandungan COD dan BOD Limbah Cair Industri Tahu dengan Metode Ozonasi. *Chempro*, 1(1), 9–15. <https://doi.org/10.33005/chempro.v1i01.27>
- [7] Aprilianti, W., & Wahyudin. (2020). Pengaruh Pembubuhan Tawas Sebagai Koagulan Terhadap Penurunan Biological Oxygen Demand Air Limbah Tahu Di Dusun Bunsyafaah Desa Puyung Kecamatan Jonggat Lombok Tengah. *Jurnal Sanitasi Dan Lingkungan*, 1(2), 65–71. <https://e-journal.sttl-mataram.ac.id>
- [8] Risdayanti, Arninda, A., & Yusuf, A. A. I. S. (2024). Pengaruh Variasi Koagulan Kulit Jeruk Untuk Menurunkan Total Suspended Solid (Tss) Pada Limbah Air Tahu. *Jurnal Teknologi Kimia Mineral*, 3(2), 92–96. <https://doi.org/10.61844/jtkm.v3i2.958>
- [9] Wang, R., Liang, R., Dai, T., Chen, J., Shuai, X., & Liu, C. (2019). Pectin-based Adsorbents for Heavy Metal Ions. *Journal of Trends in Food Science & Technology*, 91 : 319-329.
- [10] Maulida, F. E. N., Alimuddin, A., & Erwin, E. (2023). Extraction Extraction And Characterization Of Pectin From Lemon Lime Peel Waste (Citrus amblycarpa). *Jurnal Kimia Mulawarman*, 20(2), 56. <https://doi.org/10.30872/jkm.v20i2.527>
- [11] Tjhang, W. K., & Anastasia, A. M. (2017). Kajian Pengaruh Suhu dan Waktu Ekstraksi terhadap Karakteristik Pektin Kulit Jeruk Pontianak untuk Pembuatan Edible Coating. *Jurnal Agrosains*, 14, 15–21.
- [12] Putra Kencana Nengah. (2010). Optimasi Proses Ekstraksi Pektin Dami Buah Nangka (*Artocarpus heterophyllus* Lamk). 30(3), 1–6. <https://journal.ugm.ac.id/agritech/article/view/9668/7243>
- [13] Aisyah, Jannah, A., & Nurfitri. (2020). Penentuan Kualitas Pektin Dengan Formulasi pH Ekstraksi Pada Limbah Kulit Kakao (*Theobroma cacao* L.). *Jurnal Pertanian Presisi*. 40(1). 76-87.
- [14] Fauzan, A., Risnandar, T. D., Anisa, V. R., & Sihombing, R. P. (2022). Karakteristik Kadar Metoksil dan Kadar Asam Galakturonat pada Ekstrak Pektin dari Kulit Jeruk Manis Pacitan pada Suhu 90°C. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 13(01), 825–829. <https://doi.org/10.35313/irwns.v13i01.4174>
- [15] Januardi, R., Setyawati, T. R., & Penelitian, T. (2014). Kelor (*Moringa oleifera*) dan Asam Jawa (*Tamarindus indica*). *Jurnal Protobion*, 3(1), 41–45.