

Pemanfaatan serta Pengujian Kulit Buah Naga (*Hylocereus Polyrhizus*) dan Kulit Kedelai (*Glycine Max*) sebagai Biokoagulan Untuk Pengolahan Air Limbah Tahu

¹Anisa, ²Angga Dheta Shirajjudin Aji

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Jurusan Keteknikan Pertanian, Universitas Brawijaya

E-mail: Angga_glassis@ub.ac.id

Abstrak

Limbah cair industri tahu mengandung konsentrasi bahan organik dan padatan tersuspensi yang tinggi sehingga berpotensi menurunkan kualitas lingkungan apabila tidak diolah secara optimal. Proses koagulasi-flokulasi umumnya menggunakan koagulan kimia, namun menimbulkan risiko lingkungan lanjutan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas biokoagulan berbahan kulit kedelai (*Glycine max*) dan kulit buah naga (*Hylocereus polyrhizus*) dalam menurunkan Total Suspended Solids (TSS), kekeruhan, dan menetralkan pH limbah cair tahu, serta menentukan pH optimum untuk kinerja terbaik. Penelitian dilakukan menggunakan metode jar test dengan variasi konsentrasi biokoagulan (20–100%, setara 300 mg/L) dan variasi pH (5, 8, 11) dengan PAC (*Poly Aluminium Chloride*) sebagai kontrol kimiawi. Hasil menunjukkan kulit kedelai memberikan penurunan kekeruhan hingga 25,53% pada konsentrasi 80%, penurunan TSS moderat hingga 3,58% pada konsentrasi 40%, serta kestabilan pH dan penurunan absorbansi organik terlarut dengan nilai akhir terendah 2154 pada konsentrasi 100%. Kondisi basa (pH 11) merupakan pH optimum bagi kulit kedelai dengan penurunan TSS sebesar 25,91% dan kekeruhan 16,71%. Sebaliknya, kulit buah naga menunjukkan hasil fluktuatif bahkan negatif pada konsentrasi tinggi dengan peningkatan kekeruhan hingga -52,05% dan TSS hingga -24,53%, meskipun pada konsentrasi menengah masih mampu menurunkan kekeruhan secara cukup baik. Kesimpulannya, kulit kedelai lebih efektif dan stabil dibandingkan kulit buah naga, sedangkan PAC tetap menjadi perlakuan dengan efisiensi tertinggi. Penggunaan biokoagulan nabati berpotensi menjadi alternatif ramah lingkungan dalam pengolahan limbah cair industri tahu, dengan perlu adanya optimasi lebih lanjut terutama pada kulit buah naga.

Keywords: Biokoagulan, kulit kedelai, kulit buah naga, limbah cair tahu, koagulasi-flokulasi.

1. PENDAHULUAN

Tahu merupakan salah satu sumber protein nabati yang banyak oleh dikonsumsi masyarakat Indonesia karena harganya yang terjangkau serta kandungan gizinya yang tinggi. Kebutuhan kedelai sebagai bahan baku pembuatan tahu terus meningkat untuk memenuhi tingginya permintaan pasar. Kebutuhan kedelai untuk pangan mencapai 2,3 juta ton pertahun dengan distribusi sekitar 40% diantaranya untuk industri tahu, 50% untuk industri tempe, dan 10% untuk industri minyak (Pagoray dkk., 2021). Industri tahu tidak hanya berperan sebagai bahan pangan bergizi tinggi tetapi juga menjadi sumber pendapatan masyarakat khususnya di Pulau Jawa yang merupakan pusat produksi tahu terbesar di Indonesia. Lonjakan produksi tahu menyebabkan meningkatnya limbah industri tahu pula. Keberadaan industri ini memberikan kontribusi nyata terhadap perekonomian lokal melalui penyerapan tenaga kerja dan perputaran usaha di sektor pangan.

Namun, peningkatan produksi tahu yang melonjak menyebabkan pada peningkatan jumlah limbah cair yang dihasilkan. Limbah cair dari industri tahu memiliki kandungan konsentrasi bahan organik yang tinggi, termasuk protein, lemak, dan karbohidrat. Selain itu, nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang melebihi baku mutu. Hal ini tentu berpotensi menyebabkan penurunan daya dukung lingkungan serta berdampak pada kesehatan masyarakat sekitar. Limbah tahu dapat menyebabkan permasalahan Kesehatan seperti gangguan pernafasan dan iritasi kulit apabila dibuang tanpa pengolahan yang optimal.

Pengolahan limbah cair industri tahu umumnya menggunakan metode fisik, kimia, atau biologis. Salah satu tahap penting dalam pengolahan limbah cair adalah proses koagulasi-flokulasi yang bertujuan mengendapkan partikel tersuspensi dan koloid. Pada tingkat industri, proses ini sering menggunakan koagulan anorganik seperti aluminium sulfat (*alum*) atau *ferric chloride* karena efektivitasnya tinggi (Pebrutama dkk., 2021). Namun, penggunaan koagulan kimia berpotensi menimbulkan masalah lingkungan lanjutan, seperti peningkatan residu logam pada lumpur, biaya operasional yang lebih tinggi, serta risiko terhadap kesehatan manusia jika terjadi paparan jangka panjang.

Sebagai alternatif, penggunaan biokoagulan dari bahan alami menjadi solusi yang lebih ramah lingkungan. Biokoagulan berasal dari senyawa organik seperti polisakarida, protein, atau tanin yang dapat mengikat partikel koloid sehingga membentuk flok yang mudah mengendap. Kulit buah naga (*Hylocereus polyrhizus*) Kulit buah

naga mengandung senyawa tanin yang merupakan senyawa polifenol dengan gugus hidroksi dan karboksil. Senyawa tanin ini memiliki kemampuan dalam mengendapkan protein dan partikel koloid karena dapat membentuk endapan yang mudah dihilangkan, sehingga berfungsi sebagai koagulan alami dalam proses pengolahan air limbah (Azmi, 2024). Sementara itu, kedelai (*Glycine max*) memiliki kandungan protein bermuatan positif yang efektif menetralkan muatan negatif partikel tersuspensi pada limbah cair (Sprea dkk., 2024).

Berdasarkan latar belakang tersebut, permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini adalah bagaimana efektivitas kombinasi biokoagulan kulit buah naga dan kedelai dalam menurunkan kadar TSS, kekeruhan, dan menetralkan pH pada limbah cair pabrik tahu. Studi ini juga mengkaji berapa pH optimum yang dapat menghasilkan kinerja pengolahan terbaik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh variasi dosis NaOH dan pH terhadap kinerja biokoagulan berbasis kulit buah naga dan kedelai, menentukan kondisi optimum yang menghasilkan penurunan parameter pencemar paling signifikan, serta membandingkan kinerja biokoagulan kombinasi dengan masing-masing bahan tunggalnya.

2. METODE

Penelitian dilakukan di Laboratorium Pengolahan Air dan Limbah, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya. Tahapan meliputi persiapan bahan biokoagulan, proses ekstraksi, uji koagulasi, dan pengukuran parameter kualitas air.

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan meliputi:

1. Kulit buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) dan kulit kedelai (*Glycine max*)
2. Limbah cair tahu yang diambil langsung dari saluran keluar pabrik tahu di Kota Malang.
3. Larutan NaOH 1 M untuk proses ekstraksi.
4. Larutan buffer pH 4, 7, dan 10 untuk kalibrasi pH meter.
5. PAC (Poly Aluminium Chloride) sebagai pembanding koagulan kimia.
6. Akuades untuk pembilasan dan pelarut.

Alat yang digunakan antara lain:

1. Oven pengering
2. Blender dan ayakan 100 mesh
3. Magnetic stirrer atau batang pengaduk kaca
4. Jar test apparatus
5. Beaker glass 500 mL
6. Timbangan analitik
7. pH meter digital
8. Turbidimeter
9. Peralatan filtrasi (pompa vakum/kertas saring)
10. Spektrofotometer UV-Vis

Prosedur Percobaan

Penelitian diawali dengan tahap preparasi bahan baku biokoagulan. Kulit buah naga dan kulit kedelai dicuci bersih menggunakan air mengalir untuk menghilangkan kotoran. Setelah ditiriskan, bahan dipotong kecil-kecil dan dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 24 jam hingga kadar air rendah dan tekstur kering sempurna. Bahan kering kemudian dihaluskan menggunakan blender dan diayak dengan ayakan 100 mesh untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam.

Tahap berikutnya adalah proses ekstraksi menggunakan larutan NaOH 1 M. Perbandingan massa biokoagulan dan NaOH dibuat bervariasi. Pada bentuk NaOH cari dilakukan perhitungan terlebih dahulu menggunakan rumus berikut.

$$\text{Volume NaOH} = \frac{\text{Massa NaOH (g)}}{1,04}$$

Tabel 1. Jumlah Kombinasi Massa Biokoagulan dan Volume NaOH

Perlakuan	Biokoagulan (%)	NaOH (%)	Massa Biokoagulan (g)	Massa NaOH (g)	Volume NaOH (ml)
P1	20	80	5	20	19,23
P2	40	60	10	15	14,42
P3	60	40	15	10	9,62
P4	80	20	20	5	4,81
P5	100	0	25	0	0

Serbuk kulit buah naga atau kedelai ditimbang sesuai kebutuhan, lalu dicampurkan dengan larutan NaOH 1 M berdasarkan perhitungan volume yang telah ditentukan. Campuran diaduk menggunakan magnetic stirrer pada

kecepatan 100 rpm selama 2 jam, atau secara manual dengan pengadukan 2 menit setiap 15 menit selama 2 jam. Setelah proses ekstraksi selesai, campuran disaring menggunakan kertas saring atau pompa vakum, kemudian padatan hasil saring dikeringkan kembali di oven bersuhu 60–80°C selama ± 24 jam. Biokoagulan kering yang dihasilkan disimpan dalam wadah tertutup hingga tahap pengujian. Uji koagulasi-flokulasi dilakukan menggunakan metode *jar test*. Sebelum uji dimulai, pH meter dikalibrasi menggunakan larutan buffer pH 4, 7, dan 10, sedangkan *jar test apparatus* dan beaker glass dibersihkan serta diberi label sesuai perlakuan. Setiap perlakuan menggunakan 500 mL limbah cair tahu yang diambil langsung dari saluran keluar pabrik. Pengujian dilakukan pada dua variasi perlakuan, yaitu variasi dosis (20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% biokoagulan dengan dosis setara 300 mg/L) dan variasi pH (5, 8, dan 11). Penyesuaian pH dilakukan dengan larutan NaOH 1 M atau H₂SO₄ 1 M.

Pada proses *jar test*, larutan biokoagulan ditambahkan ke dalam sampel limbah tahu, kemudian dilakukan pengadukan cepat pada 100 rpm selama 4 menit untuk tahap koagulasi, diikuti pengadukan lambat pada 40 rpm selama 25 menit untuk tahap flokulasi. Setelah pengadukan, sampel didiamkan selama 30 menit agar flok mengendap. Supernatan diambil hati-hati tanpa mengganggu endapan dan dianalisis untuk pH akhir, kekeruhan (NTU), TSS (mg/L), serta serapan UV-Vis untuk mengukur kandungan bahan organik terlarut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perlakuan Penambahan NaOH

Data hasil pengukuran pH, TSS, kekeruhan, dan absorbansi setelah perlakuan koagulasi-flokulasi menggunakan biokoagulan kulit kedelai pada berbagai konsentrasi disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil pengukuran parameter kualitas limbah cair tahu setelah perlakuan NaOH 300 mg/L menggunakan variasi konsentrasi biokoagulan.

Perlakuan	pH Awal	pH Akhir	TSS Awal (mg/L)	TSS Akhir (mg/L)	Kekeruhan Awal (NTU)	Kekeruhan Akhir (NTU)
20% Biokoagulan	3.67	3.96	948	936	799	639
40% Biokoagulan	3.67	3.79	948	914	799	609
60% Biokoagulan	3.67	3.74	948	931	799	607
80% Biokoagulan	3.67	3.66	948	916	799	595
100% Biokoagulan	3.67	3.64	948	917	799	624
100% PAC	3.67	3.45	948	718	799	468

Data hasil pengukuran pH, TSS, kekeruhan, dan absorbansi setelah perlakuan koagulasi-flokulasi menggunakan biokoagulan kulit kedelai pada berbagai konsentrasi disajikan pada **Tabel 3**.

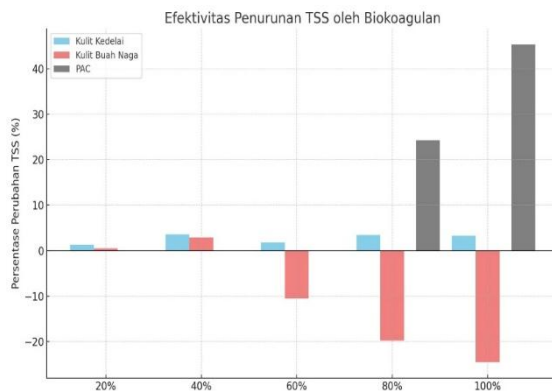
Tabel 3. Hasil pengukuran parameter kualitas limbah cair tahu setelah perlakuan NaOH 300 mg/L menggunakan variasi konsentrasi biokoagulan.

Perlakuan	pH Awal	pH Akhir	TSS Awal (mg/L)	TSS Akhir (mg/L)	Kekeruhan Awal (NTU)	Kekeruhan Akhir (NTU)
20% Biokoagulan	3.83	4.1	799	795	730	734
40% Biokoagulan	3.83	3.93	799	776	730	816
60% Biokoagulan	3.83	3.82	799	883	730	990
80% Biokoagulan	3.83	3.8	799	957	730	475
100% Biokoagulan	3.83	3.79	799	995	730	1110
100% PAC	3.83	3.18	799	437	730	456

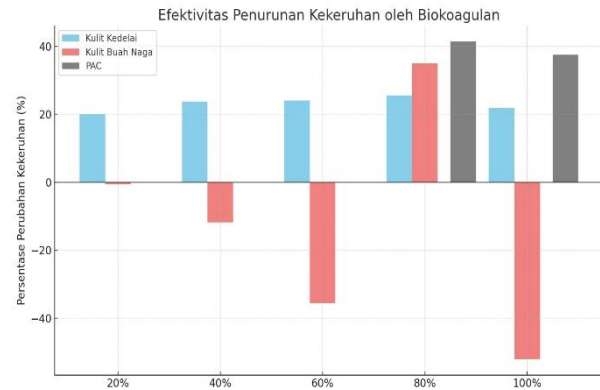
Berdasarkan data tersebut, penggunaan biokoagulan kulit kedelai mampu menurunkan kekeruhan awal sebesar 20–26% dengan penurunan tertinggi pada konsentrasi 80% yang mencapai 25,53%. Nilai TSS menunjukkan efisiensi penurunan yang relatif moderat, yaitu 1,26–3,58%, dengan performa terbaik pada konsentrasi 40%. Perubahan pH menunjukkan tren positif pada konsentrasi 80% dan 100%, mengindikasikan pergeseran ke arah yang lebih netral sehingga proses koagulasi-flokulasi berjalan dalam kondisi yang tidak terlalu asam. Nilai absorbansi (360 nm) akhir terendah diperoleh pada konsentrasi 100% (2154) yang mengindikasikan adanya potensi penurunan kandungan organik terlarut dalam limbah. Secara umum, kulit kedelai menunjukkan kinerja yang stabil dan konsisten dalam menurunkan kekeruhan dengan tetap mempertahankan kestabilan parameter lainnya.

Sebaliknya, biokoagulan kulit buah naga menunjukkan performa yang lebih fluktuatif. Beberapa konsentrasi rendah memberikan penurunan kekeruhan yang cukup baik, namun pada konsentrasi 100% justru terjadi

peningkatan kekeruhan hingga -52,05%, menandakan kemungkinan adanya pelepasan partikel organik ke dalam air. Efek negatif juga terlihat pada parameter TSS, yaitu konsentrasi tinggi menghasilkan nilai -24,53% yang berarti jumlah padatan tersuspensi meningkat. Nilai pH cenderung naik menuju netral pada berbagai konsentrasi, namun kestabilannya lebih rendah dibanding kulit kedelai. Nilai absorbansi bahkan meningkat pada konsentrasi tinggi, mengindikasikan adanya penambahan senyawa organik terlarut ke dalam sampel. Hal ini memperkuat indikasi bahwa pada dosis berlebih, material biokoagulan dari kulit buah naga dapat berperan sebagai sumber partikel baru yang menurunkan kualitas air.



Gambar 1. Grafik Efektifitas Penurunan TSS



Gambar 1. Grafik Efektifitas Penurunan Kekeruhan

Hasil pengukuran TSS menunjukkan bahwa biokoagulan kulit kedelai mampu menurunkan TSS secara moderat dengan efisiensi 1,26–3,58%. Nilai tertinggi terdapat pada konsentrasi 40% (3,58%), sedangkan konsentrasi 20% memberikan penurunan terendah (1,26%). Sebaliknya, kulit buah naga menunjukkan kinerja yang fluktuatif, bahkan negatif pada konsentrasi tinggi, dengan penurunan maksimum hanya 2,87% (40%) dan peningkatan TSS hingga -24,53% pada konsentrasi 100%, yang mengindikasikan pelepasan partikel halus dari matriks biokoagulan ke dalam air. PAC sebagai kontrol kimiawi memberikan penurunan paling signifikan sebesar 45,31%. Kulit kedelai menunjukkan kemampuan yang konsisten dalam menurunkan kekeruhan sebesar 20–25,31% pada semua konsentrasi dengan nilai tertinggi pada konsentrasi 80%. Kulit buah naga memperlihatkan hasil yang lebih bervariasi: pada konsentrasi 80% terjadi penurunan kekeruhan 34,93%, namun konsentrasi 100% justru meningkatkan kekeruhan sebesar -52,05%, yang mengindikasikan ketidakstabilan flok yang terbentuk. PAC kembali menjadi perlakuan terbaik dengan penurunan kekeruhan sebesar 41,42%.

Perlakuan Modifikasi pH

Hasil perlakuan dengan modifikasi pH larutan untuk menguji pH optimal untuk biokoagulan kulit kedelai terdapat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil pengukuran parameter kualitas limbah cair tahu setelah perlakuan Modifikasi pH Air Limbah dengan Biokoagulan Kulit Kedelai

Perlakuan	TSS Awal (mg/L)	TSS Akhir (mg/L)	Kekeruhan Awal (NTU)	Kekeruhan Akhir (NTU)
pH 5	799	793	730	761
pH 8	799	689	730	645
pH 11	799	592	730	608

Hasil perlakuan dengan modifikasi pH larutan untuk menguji pH optimal untuk biokoagulan kulit buah naga terdapat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil pengukuran parameter kualitas limbah cair tahu setelah perlakuan Modifikasi pH Air Limbah dengan Biokoagulan Kulit Buah Naga

Perlakuan	TSS Awal (mg/L)	TSS Akhir (mg/L)	Kekeruhan Awal (NTU)	Kekeruhan Akhir (NTU)
pH 5	799	919	730	700
pH 8	799	786	730	500
pH 11	799	720	730	644

Pengujian modifikasi pH awal sampel menunjukkan bahwa untuk kulit kedelai, pH yang lebih basa (pH 11) memberikan penurunan TSS dan kekeruhan terbaik (25,91% dan 16,71%). Pada pH 8, penurunan TSS mencapai

13,76%, sedangkan pH 5 hampir tidak memberikan perubahan signifikan. Pada kulit buah naga, pH basa juga cenderung meningkatkan kinerja, namun hasilnya tetap lebih rendah dan fluktuatif dibanding kulit kedelai. Berdasarkan data, kulit kedelai lebih unggul dalam menurunkan kekeruhan dan mempertahankan kestabilan parameter kualitas air, sedangkan kulit buah naga menunjukkan ketidakstabilan pada konsentrasi tinggi dan cenderung melepaskan partikel atau senyawa organik ke air. Meskipun demikian, pada konsentrasi menengah (40–80%), kulit buah naga masih berpotensi digunakan dengan hasil yang cukup baik pada parameter kekeruhan. PAC tetap menjadi kontrol terbaik dengan performa paling tinggi, namun biokoagulan nabati menawarkan solusi ramah lingkungan yang dapat menjadi alternatif pada skala tertentu.

4. KESIMPULAN

Kulit kedelai mampu menurunkan kekeruhan hingga 25,53% pada konsentrasi 80%, menurunkan TSS secara moderat hingga 3,58% pada konsentrasi 40%, serta mempertahankan kestabilan pH dan menunjukkan absorbansi terendah (2154) pada konsentrasi 100%. Modifikasi pH menunjukkan bahwa kondisi basa (pH 11) memberikan kinerja terbaik bagi kulit kedelai, dengan penurunan TSS sebesar 25,91% dan kekeruhan 16,71%. Sebaliknya, kulit buah naga menunjukkan hasil yang fluktuatif dan cenderung negatif pada konsentrasi tinggi, dengan peningkatan kekeruhan hingga -52,05% dan TSS hingga -24,53%, yang mengindikasikan pelepasan partikel atau senyawa organik ke air. Meskipun pada konsentrasi menengah (40–80%) kulit buah naga masih mampu menurunkan kekeruhan secara cukup baik, performanya secara keseluruhan lebih rendah dibanding kulit kedelai. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk mengevaluasi pengaruh variasi konsentrasi dan pH terhadap kinerja biokoagulan serta menentukan kondisi optimum telah tercapai, sekaligus menjawab bahwa kulit kedelai lebih efektif dan stabil dibandingkan kulit buah naga dalam pengolahan limbah cair pabrik tahu. Penelitian ini menunjukkan bahwa biokoagulan berbahan kulit kedelai memiliki efektivitas lebih tinggi dibandingkan kulit buah naga dalam menurunkan parameter pencemar limbah cair pabrik tahu. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan optimasi lebih lanjut pada biokoagulan kulit buah naga melalui modifikasi metode ekstraksi, kombinasi dengan bahan lain, atau penyesuaian dosis agar dapat meminimalkan pelepasan partikel dan meningkatkan kestabilan kinerja. Selain itu, pengujian pada skala lapangan dan analisis biaya operasional perlu dilakukan untuk menilai kelayakan penggunaan biokoagulan nabati pada industri tahu secara berkelanjutan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Azmi, A., 2024. Pemanfaatan Batang Buah Naga dan Kulit Buah Naga sebagai Biokoagulan dalam Menurunkan Kekeruhan dan TSS Air. Skripsi. Universitas Brawijaya.
- Pagoray, Sulistyawati, Fitriani., 2021. Limbah Cair Industri Tahu dan Dampaknya Terhadap Kualitas Air dan Biota Perairan. *Jurnal Pertanian Terpadu*, 9(1), 53-65.
- Pebritama, Tuhu., 2021. Degradasi Limbah Tahu dengan Koagulasi Flokulasi Aluminium Sulfat dan Fotokatalis TiO_2 dalam Tangki Berpengaduk. *Jurnal Envirous*, 2(1), 56-60.
- Spree, R dkk., 2024. Comprehensive analysis of soybean (*Glycine max* L.) by-products: Nutritional value, phenolic composition, and bioactive properties. *Food Bioscience*, 62, 1-14.