

Transformasi Limbah Jeruk Menjadi Biomaterial Pektin sebagai Filosofi Inovasi Medis untuk Pencegahan Adhesi Pasca Laparatomni dan Kontribusinya pada Ekologi Maritim Berkelanjutan

Fenny Nurafni¹, Hasnah Faizah AR²

Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan, Universitas Riau^{1,2}

Email Korespondensi: fenny.nurafni6136@grad.unri.ac.id¹

Dikirim: 20 November 2025 | Direvisi: 30 November 2025 | Diterima: 15 Desember 2025

DOI: <https://doi.org/10.31629/khidmat.v2i3.7928>

ABSTRAK

Limbah kulit jeruk yang terus meningkat di berbagai wilayah pesisir berpotensi menurunkan kualitas lingkungan karena aliran limbah organik ke sungai dan laut, sementara dunia medis masih menghadapi persoalan adhesi pasca laparatomni yang menimbulkan nyeri kronis, gangguan kualitas hidup, biaya perawatan tinggi, dan kebutuhan re-operasi. Telaah ini bertujuan merumuskan kerangka konseptual program pengabdian kepada masyarakat pesisir yang memanfaatkan transformasi limbah kulit jeruk menjadi biomaterial pektin sebagai upaya pencegahan adhesi sekaligus pengurangan beban limbah dan pencemaran. Metode yang digunakan adalah studi literatur dan analisis konseptual-filosofis terhadap penelitian mengenai karakteristik pektin, mekanisme terbentuknya adhesi, pendekatan bioekonomi sirkular, serta perspektif ekologi maritim dan kesehatan masyarakat, yang kemudian disintesis untuk merancang model edukasi, sosialisasi, pelatihan sederhana ekstraksi pektin, serta pendampingan masyarakat dalam pengelolaan limbah jeruk berbasis partisipasi warga. Hasil dan pembahasan telaah menunjukkan bahwa pektin kulit jeruk memiliki sifat fisikokimia, biokompatibilitas, dan biodegradabilitas yang mendukung sebagai kandidat barrier anti-adhesi, sekaligus memperkuat narasi etis tentang tanggung jawab pengelolaan limbah, perlindungan ekosistem pesisir, dan pengembangan ekonomi lokal berbasis inovasi biomaterial. Kesimpulannya, transformasi limbah kulit jeruk menjadi biomaterial pektin berpotensi menjadi basis program pengabdian yang mengintegrasikan peningkatan pengetahuan dan keterampilan warga, inovasi kesehatan, pengelolaan lingkungan yang lebih baik, serta penguatan ekologi maritim berkelanjutan yang memberi manfaat jangka panjang bagi masyarakat sehingga hasil ini bisa memberikan dampak yang signifikan bagi kebutuhan lingkungan dan sosial dalam implementasinya.

KATA KUNCI: Limbah Jeruk, Ekologi Maritim, Filsafat Lingkungan

PENDAHULUAN

Produksi jeruk yang terus meningkat di berbagai daerah di Indonesia beriringan dengan bertambahnya limbah kulit jeruk yang dihasilkan sepanjang rantai pasok, mulai dari rumah tangga hingga industri minuman dan pangan. Sebagian besar kulit jeruk ini masih diperlakukan sebagai sampah organik yang dibuang begitu saja ke TPA, selokan, atau badan air tanpa pengelolaan yang memadai. Penumpukan limbah organik dengan kandungan gula dan senyawa bioaktif yang tinggi dapat meningkatkan beban pencemar, mempercepat eutrofikasi, serta menurunkan kualitas lingkungan di sekitar permukiman (Shofinita et al., 2015; Singh et al., 2022).

Kondisi tersebut menjadi lebih serius di kawasan yang terhubung dengan pesisir karena aliran limbah dari darat pada akhirnya bermuara ke sungai dan laut. Padahal, kulit jeruk mengandung pektin, flavonoid, dan minyak atsiri yang bernilai ekonomi dan fungsional tinggi bila dikelola secara tepat. Kesenjangan antara potensi ekonomis kulit jeruk dan praktik pembuangannya sebagai sampah menunjukkan belum optimalnya pemanfaatan sumber daya hayati dalam kerangka ekonomi sirkular. Oleh karena itu, pengelolaan limbah kulit jeruk melalui pendekatan bioekonomi sirkular menjadi agenda penting yang perlu dikaji secara lebih mendalam (Teigiserova et al., 2022)

Pektin yang banyak terdapat pada kulit jeruk telah lama dikenal sebagai polisakarida fungsional dengan beragam aplikasi di sektor pangan, farmasi, dan kesehatan. Kajian mutakhir menunjukkan bahwa pektin tidak hanya berperan sebagai bahan pengental atau pembentuk gel, tetapi juga memiliki potensi biologis, termasuk aktivitas sebagai serat larut dan modulator proses fisiologis tertentu. Pemahaman yang lebih baik mengenai struktur kimia pektin, seperti derajat esterifikasi dan distribusi gugus karboksil, membuka peluang rekayasa sifat fungsionalnya untuk keperluan spesifik (Sharma et al., 2026; Zebua et al., 2025).

Perkembangan teknologi ekstraksi dan modifikasi pektin dari limbah buah-buahan juga memperluas wacana pemanfaatannya di luar industri pangan. Dalam konteks keberlanjutan, pektin dari limbah kulit jeruk dipandang sebagai biopolimer yang terbarukan dan sejalan dengan upaya pengurangan ketergantungan pada polimer sintetis berbasis fosil. Dengan demikian, pektin menempati posisi strategis sebagai jembatan antara pengelolaan limbah, inovasi biomaterial, dan penguatan ekonomi hijau. Potret ini ditegaskan oleh beragam telaah komprehensif mengenai sumber, sifat, dan manfaat kesehatan pektin (Sharma et al., 2022).

Pada saat yang sama, dunia medis masih dihadapkan pada persoalan adhesi pasca operasi, khususnya setelah prosedur laparotomi, yang dapat menimbulkan nyeri kronis, obstruksi usus, hingga kebutuhan re-operasi. Adhesi terjadi ketika permukaan jaringan yang terluka saling menempel akibat pembentukan fibrin dan proses inflamasi yang tidak terkontrol. Berbagai bahan barrier telah dikembangkan untuk mencegah kontak langsung antara jaringan selama fase penyembuhan awal, namun sebagian di antaranya masih memiliki keterbatasan dari aspek biaya, biodegradabilitas, dan potensi dampak lingkungannya (Hernandez-Hernandez et al., 2024; Mamiru & Gonfa, 2023).

Dalam konteks ini, biopolimer alami seperti pektin mulai dilirik sebagai kandidat bahan coating atau film yang dapat berfungsi sebagai penghalang sementara di permukaan jaringan. Studi terkait penggunaan lapisan pektin dalam pengaturan adhesi

sel dan interaksi permukaan memberikan indikasi bahwa material ini memiliki prospek untuk dikembangkan lebih lanjut ke arah aplikasi medis. Pendekatan tersebut relevan bagi upaya merancang biomaterial yang aman bagi tubuh sekaligus ramah lingkungan. Dengan demikian, kebutuhan akan biomaterial anti-adhesi membuka ruang dialog baru antara sains kedokteran dan biopolimer berbasis limbah agrikultur (Veisi et al., 2022).

Dalam ranah pengolahan pangan, pektin dari kulit buah sitrus telah banyak diteliti sebagai bahan pelapis makan (edible coating) yang mampu memperpanjang umur simpan buah segar dan mempertahankan kualitas sensori. Penambahan ekstrak kulit jeruk atau lemon yang kaya senyawa bioaktif ke dalam matriks pektin terbukti dapat meningkatkan aktivitas antioksidan dan sifat antimikroba lapisan pelindung.

Formulasi seperti ini menunjukkan bagaimana limbah kulit buah dapat diubah menjadi produk bernilai tambah yang sekaligus menurunkan potensi pencemaran lingkungan. Konsep tersebut memperlihatkan bahwa pemanfaatan pektin tidak harus berhenti pada fungsi tradisionalnya, tetapi dapat diperluas ke bentuk-bentuk inovasi yang lebih spesifik. Pembelajaran dari pengembangan pelapis pangan berbasis pektin penting untuk menginspirasi rancangan biomaterial lain, termasuk untuk keperluan medis. Pendekatan lintas sektor ini memperkuat argumen bahwa biopolimer berbasis limbah buah memiliki fleksibilitas aplikasi yang sangat luas. Salah satu contoh implementasi terkini ditunjukkan oleh pengembangan pelapis pektin dengan ekstrak kulit lemon untuk mempertahankan mutu stroberi selama penyimpanan dingin (Imran & Chew, 2025; Seisun & Zalesny, 2021).

Permasalahan yang tidak kalah penting adalah dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh pembuangan limbah organik, termasuk kulit jeruk, ke lingkungan terbuka maupun perairan. Limbah ini, jika dibiarkan menumpuk tanpa pengolahan, dapat memicu peningkatan emisi gas rumah kaca, menurunkan kualitas air, dan mengganggu keseimbangan ekosistem, terutama di wilayah yang terhubung dengan kawasan pesisir. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa limbah sitrus dapat dikonversi menjadi produk bernilai seperti biochar atau material berpori lain yang berfungsi sebagai adsorben pencemar (Nešić et al., 2017).

Konversi tersebut bukan hanya mengurangi beban limbah, tetapi juga memberikan kontribusi pada model ekonomi sirkular berbasis pengelolaan residu biomassa. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan pengolahan limbah yang tepat dapat sekaligus menurunkan risiko ekologis dan meningkatkan manfaat sosial-ekonomi. Bagi masyarakat yang kehidupannya sangat terkait dengan ekosistem sungai dan laut, pengurangan pembuangan limbah organik ke perairan menjadi upaya strategis untuk menjaga keberlanjutan sumber daya. Dengan demikian, transformasi limbah kulit jeruk perlu dipandang sebagai bagian dari strategi pengelolaan lingkungan yang lebih luas, bukan sekadar solusi teknis terisolasi (Selvarajoo et al., 2022).

Berbagai kajian terdahulu telah membahas teknik ekstraksi pektin dari kulit jeruk dengan menggunakan teknologi konvensional maupun pendekatan yang lebih ramah lingkungan. Metode asam, penggunaan pelarut organik, serta teknologi berbasis gelombang mikro dan ultrasonik dikembangkan untuk meningkatkan rendemen dan kualitas pektin yang dihasilkan. Studi-studi tersebut menunjukkan bahwa kondisi ekstraksi seperti pH, suhu, dan waktu sangat memengaruhi derajat esterifikasi, kadar

asam galakturonat, serta sifat reologi pektin. Perkembangan teknologi "hijau" juga menekankan pengurangan konsumsi energi dan pelarut berbahaya, sehingga sejalan dengan agenda keberlanjutan. Meski demikian, sebagian besar fokus penelitian masih berputar pada optimasi proses dan karakterisasi untuk keperluan industri pangan. Ruang diskusi masih terbuka lebar untuk mengaitkan hasil-hasil tersebut dengan pengembangan biomaterial di bidang kesehatan (Zioga et al., 2022).

Sementara itu, literatur mengenai pektin juga menunjukkan pergeseran minat dari sekadar bahan tambahan pangan menuju kandidat biopolimer untuk berbagai aplikasi material, seperti film kemasan dan komposit fungsional. Pektin dinilai menarik karena ketersediaannya yang melimpah, sifat dapat terdegradasi secara hayati, dan potensinya untuk menggantikan sebagian plastik berbasis minyak bumi. Dalam banyak studi, pektin dikombinasikan dengan polimer lain untuk meningkatkan kekuatan mekanik, ketahanan air, serta stabilitas struktural film yang dihasilkan.

Pendekatan ini sejalan dengan kebutuhan global akan material kemasan yang lebih ramah lingkungan dan dapat diolah kembali atau terdegradasi secara aman. Namun, pemanfaatan pektin sebagai material kemasan sering kali belum dikaitkan secara eksplisit dengan peluang aplikasinya di bidang biomedis. Padahal, beberapa karakteristik yang diinginkan dalam film kemasan, seperti fleksibilitas dan kemampuan membentuk lapisan tipis, juga relevan untuk pengembangan barrier di permukaan jaringan. Perkembangan kajian pektin sebagai sumber biopolimer untuk film dan kemasan menjadi pijakan penting bagi perluasan aplikasinya ke ranah biomaterial (Butler et al., 2023).

Secara konseptual, gagasan ekonomi sirkular dan bioekonomi sirkular menawarkan kerangka berpikir yang menempatkan limbah sebagai sumber daya baru yang dapat diolah kembali dalam berbagai siklus produksi. Dalam kerangka ini, kulit jeruk diposisikan bukan sebagai residu tak bernilai, melainkan sebagai bahan baku potensial bagi industri pangan, kesehatan, hingga material fungsional. Kajian-kajian mengenai ekonomi sirkular di sektor pangan menunjukkan bahwa pengelolaan limbah yang terintegrasi mampu mengurangi tekanan terhadap lingkungan sekaligus memperkuat ketahanan pangan dan ekonomi lokal. Namun, implementasi ekonomi sirkular sering kali masih terfragmentasi dan belum sepenuhnya mengintegrasikan dimensi ekologis, sosial, dan teknologi secara seimbang. Hal ini terlihat dari masih terbatasnya inisiatif yang menghubungkan pengolahan limbah agrikultur dengan perlindungan ekosistem pesisir dan laut. Oleh karena itu, diperlukan kerangka analitis yang mampu menjembatani antara konsep ekonomi sirkular, inovasi biomaterial, dan keberlanjutan ekologi maritim.

Berdasarkan lanskap pengetahuan tersebut, tampak bahwa kajian tentang pektin dari kulit jeruk umumnya masih terfokus pada aspek teknis ekstraksi dan aplikasi di bidang pangan, sementara integrasinya dengan isu adhesi pasca operasi dan ekologi maritim relatif jarang dibahas secara terpadu. Di sisi lain, diskursus filsafat lingkungan menekankan pentingnya tanggung jawab moral manusia terhadap alam, termasuk dalam cara manusia memperlakukan limbah dan merancang teknologi. Kesenjangan antara kajian teknis pektin, persoalan klinis adhesi, dan kerangka etik-ekologis ini

menghadirkan ruang kosong yang perlu diisi oleh analisis konseptual yang lebih menyeluruh.

Artikel ini memanfaatkan hasil-hasil penelitian terdahulu sebagai bahan telaah untuk merumuskan cara pandang baru mengenai transformasi limbah kulit jeruk menjadi biomaterial pektin yang selaras dengan prinsip keberlanjutan. Fokusnya bukan pada pelaporan hasil eksperimen baru, melainkan pada penyusunan argumen yang menghubungkan dimensi ilmiah, etis, dan ekologis. Dengan demikian, artikel ini berupaya memberikan kontribusi pada pemahaman strategis tentang peran pektin dalam menjawab persoalan kesehatan dan lingkungan secara bersamaan. Sejumlah ulasan mutakhir tentang fungsi biologis dan teknologi pektin menjadi rujukan utama dalam membangun kerangka konseptual (Barrera-Chamorro et al., 2025).

Tujuan utama penulisan artikel ini adalah menjelaskan secara argumentatif bagaimana limbah kulit jeruk dapat ditransformasikan menjadi biomaterial pektin yang berpotensi digunakan sebagai penghalang adhesi pasca laparatomia, sekaligus berkontribusi pada pengurangan beban limbah dan perlindungan ekosistem. Artikel ini merumuskan pertanyaan-pertanyaan kunci terkait kelayakan ilmiah, relevansi ekologis, dan landasan filosofis dari pemanfaatan pektin tersebut. Selain itu, artikel ini berupaya menunjukkan bagaimana konsep bioekonomi sirkular dapat diterjemahkan ke dalam praktik konkret melalui pemanfaatan limbah agrikultur dalam bidang kesehatan. Argumen yang disusun diharapkan dapat memberikan dasar bagi pengembangan kegiatan edukasi dan inisiatif praktis di tingkat masyarakat, terutama di wilayah yang memiliki kedekatan dengan sumber limbah kulit jeruk dan lingkungan perairan. Artikel ini juga dimaksudkan sebagai rujukan awal bagi perancangan penelitian lanjutan yang lebih terarah, baik di ranah laboratorium maupun kajian sosial-lingkungan.

METODE

Pendekatan kualitatif-deskriptif dengan metode studi literatur dan analisis konseptual-filosofis (Moleong, 2017). Fokus utama bukan pada pengujian laboratorium atau uji klinis, melainkan pada telaah kritis terhadap gagasan dan temuan ilmiah yang berkaitan dengan transformasi limbah kulit jeruk menjadi biomaterial pektin anti-adhesi serta implikasinya bagi ekologi maritim berkelanjutan. Sumber data berupa artikel jurnal terindeks, buku, dan dokumen kebijakan yang membahas limbah agrikultur, pektin sebagai biomaterial, adhesi pasca laparatomia, filsafat lingkungan, bioekonomi sirkular, dan ekologi pesisir-maritim (Hartiningrum & Maarif, 2020; Nawir et al., 2018).

Pencarian literatur dilakukan melalui beberapa basis data daring (seperti Scopus, PubMed, dan Google Scholar) serta portal jurnal nasional dengan menggunakan kata kunci kombinasi, antara lain "citrus peel waste", "pectin biomaterial", "postoperative adhesion prevention", "circular bioeconomy", "environmental philosophy", dan "marine/coastal sustainability". Batasan waktu literatur difokuskan terutama pada publikasi sekitar tahun 2010-2025, dengan tetap mempertahankan beberapa rujukan klasik filsafat lingkungan yang relevan. Seleksi sumber dilakukan berdasarkan kesesuaian tema dengan tujuan telaah, kejelasan kerangka konseptual, dan kontribusi terhadap pemahaman hubungan antara limbah jeruk, biomaterial pektin, dan ekologi maritim.

Literatur yang terpilih kemudian dikelompokkan ke dalam beberapa gugus tema, seperti: (1) karakteristik fisikokimia pektin kulit jeruk dan potensi aplikasinya sebagai biomaterial anti-adhesi; (2) mekanisme patofisiologi adhesi pasca laparotomi dan pendekatan barrier biomaterial; (3) filsafat lingkungan dan konsep tanggung jawab moral terhadap alam; (4) bioekonomi sirkular dan waste valorization limbah agrikultur; serta (5) ekologi pesisir-maritim dan kaitannya dengan aliran limbah dari darat ke laut. Pengelompokan ini bertujuan memudahkan sintesis lintas disiplin yang kemudian diartikulasikan pada bagian hasil dan pembahasan.

Analisis data dilakukan dengan analisis isi (content analysis) dan interpretasi filosofis (Fennell, 2001; Malloy & Fennell, 1998). Pada tahap ini, argumen-argumen kunci dari masing-masing gugus tema dibaca ulang, dibandingkan, dan disusun menjadi kerangka penjelasan yang utuh mengenai bagaimana pektin dari limbah jeruk dapat dipahami sekaligus sebagai solusi teknologi kesehatan, wujud praktik bioekonomi sirkular, dan instrumen perlindungan ekologi maritim. Kerja analisis tidak diarahkan untuk menghasilkan kesimpulan statistik atau uji hipotesis, melainkan untuk membangun narasi konseptual yang koheren dan argumentatif.

Selanjutnya, dilakukan sintesis interdisipliner antara temuan ilmiah tentang pektin dan adhesi pasca laparotomi dengan perspektif filsafat lingkungan dan ekologi maritim. Sintesis ini menekankan integrasi dimensi filosofis (nilai intrinsik alam dan tanggung jawab moral), dimensi klinis (kebutuhan akan biomaterial anti-adhesi yang biokompatibel dan biodegradable), serta dimensi ekologis (pengurangan beban limbah agrikultur terhadap pesisir dan laut). Dari sintesis tersebut dirumuskan implikasi praktis bagi pengembangan model pengabdian masyarakat di wilayah pesisir, terutama terkait edukasi pengelolaan limbah jeruk dan pemahaman hubungan darat-laut.

Sepanjang proses, artikel ini tidak melakukan pengumpulan data primer berupa eksperimen laboratorium, uji hewan, ataupun uji klinis pada manusia. Seluruh kesimpulan yang disajikan merupakan hasil telaah, penafsiran, dan penggabungan kritis terhadap literatur yang ada. Dengan demikian, Hasil dan Pembahasan yang disusun merefleksikan keluaran dari kegiatan telaah konseptual-filosofis dan studi literatur, bukan temuan penelitian empiris baru, sehingga konsisten dengan karakter judul dan tujuan penulisan artikel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Penguatan Perspektif Filsafat Lingkungan dan Bioekonomi Sirkular dalam Telaah Limbah Jeruk

Telaah literatur menunjukkan bahwa pemaknaan limbah kulit jeruk mengalami pergeseran dari sekadar residu agrikultur menuju sumber daya strategis dalam kerangka bioekonomi sirkular. Berbagai referensi menempatkan limbah sebagai titik masuk untuk merealisasikan prinsip keberlanjutan, di mana siklus material tidak berhenti pada tahap konsumsi, tetapi diperpanjang melalui proses daur ulang dan valorizasi. Dalam konteks ini, kulit jeruk bukan lagi "sampah organik" yang dibuang, melainkan bahan baku potensial untuk biomaterial. Pergeseran paradigma ini menjadi landasan filosofis utama kegiatan telaah, karena menegaskan bahwa relasi manusia-lingkungan harus dibaca sebagai sistem yang saling terkait, bukan hubungan

eksploitatif satu arah. Dengan demikian, seluruh hasil telaah bergerak dalam kerangka pemikiran bahwa inovasi teknologi, termasuk biomaterial pektin, harus mengabdi pada kelestarian ekologis, bukan semata pada kepentingan ekonomi.

Kegiatan telaah juga menegaskan bahwa filsafat lingkungan menyediakan bahasa normatif untuk menilai praktik pengelolaan limbah jeruk. Literatur menunjukkan adanya penekanan kuat pada konsep tanggung jawab moral terhadap generasi mendatang melalui pengurangan jejak ekologis. Penerapan prinsip do no harm terhadap ekosistem memaksa pengelolaan limbah bertransformasi dari pola linear "ambil-pakai-buang" menjadi pola sirkular "ambil-pakai-olah kembali". Kerangka ini memberi justifikasi etik bagi upaya pemanfaatan kulit jeruk sebagai biomaterial pektin, karena praktik tersebut tidak hanya mengurangi cemaran lingkungan, tetapi juga menambah nilai guna limbah. Dengan demikian, kegiatan telaah tidak berhenti pada aspek teknis, melainkan menghubungkan inovasi biomaterial dengan kewajiban etis menjaga keberlanjutan.

Hasil kajian konseptual memperlihatkan bahwa bioekonomi sirkular berfungsi sebagai jembatan antara filsafat lingkungan dan praktik teknologi. Di satu sisi, paradigma ini berangkat dari kesadaran filosofis bahwa sumber daya alam memiliki keterbatasan dan perlu dikelola secara bijaksana. Di sisi lain, bioekonomi sirkular menuntut solusi konkret melalui teknologi yang mampu mengonversi limbah menjadi produk bernilai tambah. Transformasi kulit jeruk menjadi pektin muncul sebagai contoh nyata relasi dialektis kedua ranah tersebut: nilai etik terwujud dalam bentuk proses teknologis yang terukur. Dengan demikian, kegiatan telaah mengonfirmasi bahwa inovasi biomaterial tidak netral secara nilai, melainkan mengandung muatan filosofis yang memandu arah penggunaannya.

Tabel 1. Filsafat Lingkungan dan Bioekonomi Sirkular dalam Konteks Transformasi Limbah Jeruk

Aspek Telaah	Temuan Utama	Implikasi Filosofis	Implikasi Praktis
Paradigma limbah	Limbah jeruk dipandang sebagai sumber daya bernilai	Reinterpretasi nilai limbah sebagai bagian ekosistem	Mendorong inovasi pemanfaatan limbah
Bioekonomi sirkular	Penekanan siklus material pada tertutup	Etika pengurangan jejak ekologis	Pengembangan teknologi valorizasi limbah
Hubungan darat-laut	Limbah darat berkontribusi pada pencemaran pesisir	Tanggung moral ekosistem	Intervensi pengelolaan limbah di tingkat hulu
Peran biomaterial pektin	Contoh konkret integrasi nilai dan teknologi	Harmoni teknologi kesehatan-lingkungan	Model aplikatif bagi komunitas pesisir

Sumber: diolah Penulis, 2025

Telaah literatur juga menemukan bahwa pemanfaatan limbah jeruk sebagai biomaterial pektin merefleksikan konsep nilai intrinsik dan instrumental dalam

lingkungan. Kulit jeruk awalnya dipandang memiliki nilai instrumental rendah setelah proses pengolahan buah selesai. Namun, ketika dikaji ulang melalui perspektif bioekonomi sirkular, limbah ini memperoleh kembali makna ekologisnya sebagai bagian dari siklus materi yang dapat menopang kesehatan manusia dan lingkungan. Proses re-interpretasi ini sejalan dengan gagasan bahwa alam tidak boleh direduksi hanya pada fungsi ekonominya, tetapi juga harus diakui sebagai mitra keberlanjutan. Dengan demikian, kegiatan telaah memperlihatkan bagaimana kerja filosofis dapat mengubah cara pandang terhadap sesuatu yang dianggap remeh seperti limbah kulit jeruk.

Selain itu, hasil telaah mengidentifikasi bahwa diskursus keberlanjutan maritim semakin menekankan keterkaitan wilayah darat dan laut melalui jalur aliran limbah. Pembuangan limbah organik yang tidak terkelola ke sungai dan pesisir terbukti berkontribusi terhadap degradasi kualitas perairan. Dalam kerangka ini, pemanfaatan limbah kulit jeruk menjadi biomaterial pektin dipahami sebagai salah satu bentuk intervensi hulu untuk mengurangi tekanan ekologis di wilayah pesisir. Dengan demikian, kebijakan dan praktik pengelolaan limbah di darat menjadi bagian tak terpisahkan dari etika ekologi maritim. Kegiatan telaah menegaskan bahwa transformasi limbah jeruk tidak hanya relevan bagi sektor kesehatan, tetapi juga bagi pengelolaan ruang laut yang berkelanjutan.

Telaah tidak sekadar mengumpulkan data literatur, tetapi membangun kerangka konseptual yang memadukan filsafat lingkungan, bioekonomi sirkular, dan inovasi biomaterial. Transformasi limbah jeruk menjadi pektin dibaca sebagai praktik yang lahir dari kesadaran etik sekaligus rasionalitas teknologis. Dengan demikian, hasil telaah memberikan dasar normatif bagi upaya-upaya praktis yang akan dilakukan di komunitas pesisir, termasuk program edukasi, pendampingan, dan pengembangan produk. Pendekatan ini diharapkan mampu mencegah reduksi inovasi biomaterial menjadi sekadar komoditas, serta memastikan bahwa seluruh proses tetap berpihak pada kelestarian ekosistem maritim dan kesejahteraan masyarakat.

2. Karakteristik Pektin Kulit Jeruk sebagai Biomaterial Anti-Adhesi

Pektin kulit jeruk memiliki profil fisikokimia yang sangat mendukung untuk aplikasi biomaterial, khususnya sebagai agen pencegah adhesi pasca laparatomii. Berbagai sumber menjelaskan bahwa pektin tersusun atas rantai asam galakturonat dengan derajat esterifikasi yang memengaruhi kemampuan gelasi. Struktur ini membuat pektin mampu membentuk gel stabil pada kondisi tertentu, termasuk lingkungan biologis yang lembap. Dalam konteks kegiatan telaah, karakteristik tersebut dipahami sebagai dasar ilmiah yang menjembatani antara limbah agrikultur dan kebutuhan klinis. Dengan demikian, kulit jeruk yang semula tidak bernilai ekonomis tinggi memperoleh fungsi baru sebagai bahan baku biomaterial anti-adhesi yang potensial.

Telaah juga mengungkap bahwa pektin memiliki tingkat biokompatibilitas dan biodegradabilitas yang baik dibandingkan beberapa bahan sintetis. Literatur menunjukkan bahwa pektin cenderung tidak memicu respons imun yang berlebihan dan dapat terdegradasi secara bertahap di dalam tubuh. Temuan ini menjadi penting dalam pembahasan filosofis mengenai harm principle dalam teknologi kesehatan:

biomaterial ideal tidak hanya efektif secara mekanik, tetapi juga tidak menimbulkan kerusakan baru pada tubuh pasien. Dengan demikian, pemilihan pektin dari limbah kulit jeruk mencerminkan upaya untuk meminimalkan risiko, baik bagi tubuh manusia maupun bagi lingkungan, melalui bahan yang lebih alami dan ramah ekologis.

Dari sisi teknik, kegiatan telaah menemukan bahwa berbagai metode ekstraksi pektin dari kulit jeruk baik melalui pendekatan asam maupun enzimatik memberikan rendemen dan kualitas yang kompetitif dengan pektin komersial. Literatur memperlihatkan variasi parameter seperti pH, suhu, dan waktu ekstraksi yang berpengaruh terhadap derajat esterifikasi dan viskositas gel yang dihasilkan. Dalam konteks pengabdian dan edukasi masyarakat, informasi ini penting karena menunjukkan bahwa proses ekstraksi dapat disederhanakan tanpa kehilangan esensi kualitas biomaterial. Artinya, kegiatan yang dilakukan di tingkat komunitas pesisir masih dapat menghasilkan pektin dengan mutu memadai untuk demonstrasi konsep dan pengembangan produk sederhana.

Tabel 2. Karakteristik Kunci Pektin Kulit Jeruk Dalam Konteks Aplikasi Anti-Adhesi

Karakteristik Pektin	Temuan Telaah	Relevansi Klinis	Relevansi Ekologis
Struktur polisakarida	Tersusun atas asam galakturonat dengan variasi esterifikasi	Menentukan kemampuan gelasi sebagai barrier	Memungkinkan modifikasi tanpa bahan berbahaya
Biokompatibilitas	Minim memicu reaksi imun dan toksitas	Aman untuk kontak dengan jaringan tubuh	Mengurangi risiko residu toksik di lingkungan
Biodegradabilitas	Dapat terdegradasi alami dalam tubuh	Tidak memerlukan pengangkatan ulang	Mengurangi akumulasi material sintetis di alam
Potensi formulasi	Dapat dikombinasikan dengan polimer alami lain	Memperbaiki kekuatan dan stabilitas gel	Mendukung penggunaan bahan terbarukan

Sumber: diolah Penulis, 2025

Telaah literatur juga menyoroti bahwa pektin dapat diformulasikan menjadi gel, film, atau kombinasi dengan polimer alami lain seperti kitosan dan gelatin. Kombinasi ini terbukti meningkatkan kekuatan mekanik dan stabilitas gel, sehingga lebih efektif sebagai penghalang fisik di permukaan jaringan pasca operasi. Dari perspektif filosofis, kemampuan pektin untuk berkolaborasi dengan polimer lain dapat dibaca sebagai metafora relasionalitas ekologi: tidak ada satu unsur pun yang bekerja sendirian, semua saling menopang untuk mencapai keseimbangan. Dalam praktik klinis, kolaborasi material ini diartikan sebagai strategi teknologi untuk mengoptimalkan fungsi biomaterial tanpa meninggalkan prinsip keamanan.

Selain aspek teknis, hasil telaah mengungkap bahwa penggunaan pektin dari limbah jeruk juga berkontribusi pada pengurangan ketergantungan terhadap bahan

sintetis berbasis petrokimia. Hal ini sejalan dengan agenda dekarbonisasi dan pengurangan jejak karbon global. Dengan menggantikan sebagian biomaterial sintetis menggunakan pektin alami, maka rantai produksi kesehatan menjadi lebih selaras dengan prinsip keberlanjutan. Dalam kerangka etika lingkungan, langkah ini menunjukkan bahwa inovasi medis dapat dirancang sedemikian rupa agar tidak hanya menyelamatkan manusia hari ini, tetapi juga menjaga kelayakan hidup generasi mendatang melalui pengurangan eksplorasi sumber daya fosil.

Kesesuaian pektin kulit jeruk sebagai kandidat biomaterial anti-adhesi dari perspektif ilmiah, klinis, dan ekologis. Karakteristik fisikokimia yang mendukung, ditambah dengan profil biokompatibilitas dan biodegradabilitas yang baik, menjadikan pektin selaras dengan prinsip kehati-hatian dalam teknologi kesehatan. Pada saat yang sama, asal-usul pektin dari limbah jeruk mengikat inovasi ini pada komitmen pengelolaan limbah yang berkelanjutan. Dengan demikian, hasil telaah memberikan dasar argumen yang kuat untuk melanjutkan eksplorasi pektin kulit jeruk tidak hanya di laboratorium, tetapi juga dalam skema edukasi dan pengabdian di masyarakat pesisir.

3. Sintesis Mekanisme Pencegahan Adhesi Pasca Laparotomi oleh Pektin

Adhesi pasca laparotomi merupakan fenomena kompleks yang melibatkan proses inflamasi, koagulasi fibrin, dan fibrosis yang terjadi setelah trauma pembedahan. Literatur menjelaskan bahwa ketika permukaan jaringan abdomen terluka, tubuh merespons dengan membentuk fibrin sebagai bagian dari proses penyembuhan. Namun, jika fibrin tidak terdegradasi dengan baik, ia dapat bertindak sebagai "lem" yang menghubungkan organ-organ yang berdekatan, sehingga terbentuk adhesi. Poin ini penting karena menegaskan bahwa kebutuhan akan biomaterial anti-adhesi berangkat dari pemahaman fisiologi penyembuhan luka, bukan sekadar kebutuhan praktis mengurangi komplikasi. Telaah dengan demikian memetakan konteks klinis di mana pektin diharapkan berperan.

Hasil telaah juga menunjukkan bahwa salah satu strategi utama pencegahan adhesi adalah penggunaan barrier fisik yang bersifat sementara di area operasi. Barrier ini berfungsi mencegah kontak langsung antar permukaan jaringan selama fase kritis pembentukan fibrin dan inflamasi. Pektin, baik dalam bentuk gel maupun film, dikaji sebagai salah satu kandidat barrier karena kemampuannya membentuk lapisan tipis yang melekat sementara di permukaan jaringan. Literatur yang ditelaah menunjukkan bahwa pektin dapat mengurangi pembentukan adhesi dengan cara mengurangi peluang pertemuan langsung antara permukaan organ yang meradang. Temuan ini menjadi kunci dalam pembahasan telasah, karena menunjukkan hubungan langsung antara sifat material dan mekanisme pencegahan adhesi.

Telaah literatur membandingkan pektin dengan beberapa bahan anti-adhesi sintetis, seperti film berbasis hyaluronic acid termodifikasi atau PTFE. Bahan-bahan sintetis tersebut memang menunjukkan efektivitas tertentu, tetapi sering kali disertai keterbatasan seperti biaya tinggi, risiko residu jangka panjang, dan isu degradabilitas. Dalam perbandingan ini, pektin tampil sebagai alternatif yang lebih selaras dengan prinsip keberlanjutan karena berasal dari sumber hayati yang terbarukan dan dapat terurai secara biologis. Analisis kritis dalam telaah menekankan bahwa pilihan

biomaterial seharusnya tidak hanya mempertimbangkan indikator klinis jangka pendek, seperti penurunan angka adhesi, tetapi juga dampak jangka panjang terhadap pasien dan lingkungan.

Selain meninjau mekanisme barrier, kegiatan telaah juga mengidentifikasi potensi pektin dalam memodulasi mikro-lingkungan luka. Beberapa literatur mengindikasikan bahwa sifat hidrofilik pektin membantu menjaga kelembapan permukaan luka, yang dapat mendukung proses penyembuhan yang lebih terkontrol. Kelembapan yang adekuat berkontribusi pada stabilitas jaringan dan mengurangi gesekan berlebihan antar organ. Walaupun aspek ini masih memerlukan pengujian lebih lanjut di tingkat eksperimental, hasil telaah menempatkannya sebagai hipotesis kerja yang relevan dalam pengembangan lebih lanjut. Secara filosofis, pendekatan ini menunjukkan bahwa biomaterial tidak hanya dipahami sebagai penghalang pasif, tetapi sebagai bagian dari ekosistem penyembuhan tubuh.

Tabel 3. Sintesis Mekanisme Kerja Pektin dalam Konteks Pencegahan Adhesi Pasca Laparotomi

Tahap Proses Klinis	Mekanisme Kunci dalam Adhesi	Peran Potensial Pektin	Catatan Telaah
Trauma pembedahan	Kerusakan jaringan dan aktivasi inflamasi	Membentuk lapisan pelindung di permukaan jaringan	Meminimalkan kontak langsung antar organ
Pembentukan fibrin	Fibrin bertindak sebagai "lem" sementara	Mengurangi peluang jaringan menempel di atas fibrin	Perlu kajian lebih lanjut terkait interaksi spesifik
Fase penyembuhan awal	Risiko pembentukan adhesi jika fibrin tidak lisis	Menjadi barrier sementara hingga fase kritis berlalu	Mendukung konsep barrier sementara yang biodegradable
Jangka panjang pasca operasi	Adhesi menyebabkan komplikasi klinis	Terdegradasi dan diserap tubuh tanpa residu berbahaya	Relevan bagi keselamatan pasien dan lingkungan

Sumber: diolah Penulis, 2025

Hasil telaah juga menyoroti adanya celah pengetahuan terkait standar formulasi dan protokol penggunaan pektin sebagai anti-adhesi di setting klinis. Sebagian besar studi masih berada pada tahap pra-klinis atau uji pada model hewan, sehingga diperlukan upaya translasi yang lebih sistematis menuju praktik bedah. Temuan ini penting dalam konteks kegiatan telaah karena menegaskan sifat "jembatan" dari kajian yang dilakukan: merangkai bukti yang tersedia sambil mengidentifikasi area yang belum terjamah. Dengan demikian, output utama kegiatan telaah bukan berupa klaim

efektivitas definitif, tetapi peta konseptual yang menunjukkan potensi, keterbatasan, dan arah pengembangan pektin sebagai biomaterial anti-adhesi.

Gambaran komprehensif mengenai bagaimana pektin dapat berperan dalam mencegah adhesi pasca laparatomu, tanpa mengklaim adanya data klinis baru. Sintesis literatur yang dilakukan memfokuskan diri pada penjelasan mekanisme, perbandingan dengan biomaterial lain, serta identifikasi celah yang masih terbuka. Pendekatan ini selaras dengan tujuan kajian konseptual dan filosofis yang tidak bermaksud menggantikan uji klinis, tetapi menyediakan landasan untuk merancang penelitian, edukasi, dan inovasi berbasis bukti. Dengan demikian, hasil telaah menjadi pijakan penting bagi kolaborasi lintas disiplin antara klinisi, peneliti biomaterial, dan pemerhati lingkungan maritim.

4. Implikasi Ekologis dan Maritim dari Transformasi Limbah Jeruk

Aliran limbah organik dari wilayah darat ke pesisir dan laut merupakan salah satu faktor yang berkontribusi terhadap degradasi ekosistem maritim. Limbah kulit jeruk, jika dibuang begitu saja ke saluran air, dapat mempercepat proses eutrofikasi dan mengubah keseimbangan nutrien di perairan. Literatur yang dikaji menegaskan bahwa sekalipun tergolong organik dan dapat terurai, akumulasi limbah dalam jumlah besar tetap menimbulkan tekanan ekologis. Dalam perspektif ini, transformasi limbah kulit jeruk menjadi biomaterial pektin dipahami sebagai intervensi yang memotong aliran limbah ke lingkungan akuatik. Kegiatan telaah dengan demikian mengaitkan inovasi biomaterial dengan upaya perlindungan ekosistem pesisir dan maritim.

Selain mengurangi volume limbah, pemanfaatan kulit jeruk sebagai bahan baku biomaterial juga menambah nilai ekonomi pada rantai pasok agrikultur. Hasil telaah memperlihatkan bahwa pendekatan waste valorization dapat menciptakan peluang ekonomi baru bagi komunitas lokal, terutama di daerah pesisir yang dekat dengan sumber limbah dan wilayah maritim. Peningkatan nilai tambah ini berpotensi mengubah pola perilaku masyarakat: limbah tidak lagi dipandang sebagai beban, melainkan sebagai aset yang perlu dikumpulkan dan dikelola. Dari perspektif filosofis, perubahan pola pikir ini memperkuat etika tanggung jawab terhadap lingkungan, karena masyarakat melihat manfaat langsung dari praktik pengelolaan limbah yang baik.

Kegiatan telaah juga mengidentifikasi keterkaitan antara konsep blue economy dan bioekonomi sirkular dalam konteks pemanfaatan limbah jeruk. Blue economy menekankan pemanfaatan sumber daya laut secara berkelanjutan, sementara bioekonomi sirkular menyoroti pengelolaan sumber daya hayati secara tertutup. Hasil telaah menunjukkan bahwa kedua konsep ini dapat saling menopang jika pengelolaan limbah di darat diposisikan sebagai bagian dari strategi perlindungan ekosistem laut. Transformasi limbah jeruk menjadi pektin, meskipun secara langsung beroperasi di wilayah darat, memiliki konsekuensi positif bagi kesehatan perairan pesisir. Dengan demikian, kegiatan telaah mengusulkan pembacaan lintas ekosistem, di mana intervensi di darat menjadi bagian integral dari kebijakan maritim berkelanjutan.

Telaah literatur juga menyoroti pentingnya peran edukasi dan pemberdayaan masyarakat dalam memastikan keberlanjutan pengelolaan limbah. Tanpa perubahan

perilaku di tingkat rumah tangga dan komunitas, inovasi teknis sering kali berhenti pada skala proyek kecil. Hasil telaah menyarankan bahwa program pengabdian yang mengajarkan teknik sederhana ekstraksi pektin sekaligus menyampaikan filosofi lingkungan akan lebih efektif dibandingkan intervensi yang hanya bersifat teknis. Pendekatan ini menempatkan masyarakat bukan sebagai objek sosialisasi, tetapi sebagai subjek yang mampu menginterpretasikan sendiri hubungan antara praktik sehari-hari dan kesehatan ekosistem maritim.

Dari sisi kebijakan, kegiatan telaah menemukan bahwa pemanfaatan limbah agrikultur untuk biomaterial masih relatif jarang diintegrasikan secara eksplisit dalam dokumen perencanaan pengelolaan wilayah pesisir dan laut. Hal ini membuka peluang bagi perumusan kebijakan lintas sektor yang menghubungkan pertanian, kesehatan, dan kelautan dalam satu kerangka bioekonomi sirkular. Dengan memasukkan skema pemanfaatan limbah jeruk ke dalam agenda pembangunan maritim, pemerintah daerah dan pemangku kepentingan dapat memperkuat argumen bahwa pelestarian laut dimulai dari darat. Kegiatan telaah dengan demikian menyediakan dasar konseptual untuk mendorong dialog kebijakan yang lebih integratif.

5. Integrasi Dimensi Filosofis, Klinis, dan Ekologis serta Implikasinya

Secara keseluruhan memperlihatkan bahwa transformasi limbah jeruk menjadi biomaterial pektin berada di persimpangan tiga dimensi utama: filosofis, klinis, dan ekologis. Dari sisi filosofis, pemanfaatan limbah jeruk mengukuhkan prinsip bahwa manusia memiliki tanggung jawab moral untuk mengelola limbah secara bijak, menghargai nilai intrinsik alam, dan memastikan keberlanjutan lintas generasi. Dari sisi klinis, pektin tampil sebagai kandidat biomaterial yang menjanjikan untuk mencegah adhesi pasca laparatomni karena sifat biokompatibilitas dan biodegradabilitasnya. Sementara dari sisi ekologis, pengurangan limbah organik yang berpotensi mencemari wilayah pesisir memberikan kontribusi nyata terhadap kesehatan ekosistem maritim. Integrasi ketiga dimensi ini menjadi temuan kunci kegiatan telaah.

Hasil telaah juga menegaskan bahwa pendekatan interdisipliner bukan sekadar pilihan metodologis, tetapi kebutuhan substantif untuk menjawab kompleksitas masalah limbah dan kesehatan. Studi teknis tentang pektin tidak akan mencapai relevansi maksimal tanpa dibingkai oleh pertimbangan etik dan ekologis. Sebaliknya, wacana filosofis mengenai keberlanjutan akan sulit terwujud jika tidak disertai contoh konkret inovasi teknologi seperti biomaterial pektin. Dengan demikian, kegiatan telaah menghasilkan argumen bahwa program-program pengabdian kepada masyarakat perlu dirancang dalam kerangka interdisipliner, melibatkan ahli lingkungan, klinisi, peneliti biomaterial, dan tokoh komunitas.

Dari perspektif implementasi, telaah menunjukkan bahwa model pengabdian yang mengajarkan ekstraksi pektin dari limbah jeruk sekaligus mengintegrasikan diskusi etika lingkungan berpotensi menghasilkan perubahan yang lebih mendalam. Peserta bukan hanya memperoleh keterampilan teknis, tetapi juga pemahaman mengapa praktik tersebut penting bagi kesehatan manusia dan ekosistem laut. Hal ini diharapkan mendorong terbentuknya komitmen jangka panjang, bukan sekadar antusiasme sesaat. Kegiatan telaah dengan demikian memberikan landasan konseptual

bagi rancangan modul pelatihan yang memuat materi teknis, studi kasus klinis, dan refleksi filosofis dalam satu paket.

Hasil telaah juga mengidentifikasi bahwa keberlanjutan model pengabdian sangat bergantung pada kemampuan komunitas untuk mengembangkan inisiatif lanjutan secara mandiri. Oleh karena itu, penting bagi setiap kegiatan pendampingan untuk memasukkan aspek perencanaan usaha kecil, jaringan pemasaran, dan akses terhadap dukungan kebijakan lokal. Transformasi limbah jeruk menjadi pektin dapat diarahkan tidak hanya untuk demonstrasi anti-adhesi, tetapi juga untuk pengembangan produk kreatif lain yang ramah lingkungan. Dengan cara ini, prinsip bioekonomi sirkular dapat berakar dalam kehidupan sehari-hari masyarakat, bukan hanya dalam wacana akademik.

Kegiatan telaah juga secara kritis mengakui adanya keterbatasan. Tanpa data empiris baru, telaah ini bergantung pada kualitas dan ketersediaan literatur yang ada. Oleh karena itu, rekomendasi yang dihasilkan terutama bersifat konseptual dan strategis, bukan teknis-operasional yang spesifik untuk praktik klinis. Namun, pengakuan atas keterbatasan ini justru menjadi kekuatan, karena menghindarkan klaim berlebihan dan membuka ruang bagi penelitian lanjutan. Kegiatan telaah dengan demikian berfungsi sebagai peta konseptual yang memandu arah langkah berikutnya, baik di ranah penelitian maupun pengabdian.

KESIMPULAN

Telaah konseptual ini menegaskan bahwa limbah kulit jeruk yang selama ini belum dikelola secara optimal memiliki potensi strategis untuk ditransformasikan menjadi biomaterial pektin yang bermanfaat dalam pencegahan adhesi pasca laparatomia, sekaligus berkontribusi pada pengurangan beban pencemaran di wilayah pesisir. Integrasi perspektif kesehatan, lingkungan, dan sosial menunjukkan bahwa isu adhesi pasca operasi tidak hanya persoalan klinis, tetapi juga terkait dengan etika pemanfaatan sumber daya lokal dan pengelolaan limbah organik. Dengan demikian, pemetaan masalah yang dilakukan dalam artikel ini menjadi dasar penting bagi perancangan program pengabdian masyarakat yang bersifat interdisipliner dan berwawasan ekologi maritim.

Hasil telaah literatur dan analisis konseptual-filosofis memperlihatkan bahwa pektin kulit jeruk memiliki karakteristik fisikokimia, biokompatibilitas, dan biodegradabilitas yang menjanjikan sebagai kandidat barrier anti-adhesi, sekaligus sesuai dengan prinsip bioekonomi sirkular. Di sisi lain, pengembangan program pelatihan ekstraksi pektin dan pengelolaan limbah jeruk di tingkat komunitas pesisir berpotensi meningkatkan pengetahuan, keterampilan, dan kesadaran lingkungan masyarakat. Pendekatan partisipatif yang dirancang tidak hanya menguatkan kapasitas warga dalam mengolah limbah menjadi produk bernilai tambah, tetapi juga menumbuhkan rasa memiliki terhadap upaya pelestarian lingkungan dan inovasi kesehatan berbasis kearifan lokal.

Ke depan, implementasi program pengabdian yang berlandaskan konsep pemanfaatan limbah kulit jeruk sebagai biomaterial pektin memerlukan uji praktik yang lebih sistematis, baik dari sisi teknis ekstraksi, uji pra-klinis dan klinis, maupun model

pemberdayaan masyarakat pesisir yang berkelanjutan. Kolaborasi antara perguruan tinggi, tenaga kesehatan, pemerintah daerah, dan komunitas lokal menjadi kunci untuk mewujudkan ekosistem inovasi yang mendukung. Dengan demikian, artikel ini merekomendasikan pengembangan proyek percontohan (pilot project) di wilayah pesisir sebagai langkah awal, yang diikuti dengan evaluasi berkelanjutan, penyempurnaan model, serta diseminasi hasil sebagai rujukan bagi program pengabdian serupa di daerah maritim lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Barrera-Chamorro, L., Fernandez-Prior, Á., Rivero-Pino, F., & Montserrat-de la Paz, S. (2025). A comprehensive review on the functionality and biological relevance of pectin and the use in the food industry. *Carbohydrate Polymers*, 348, 122794. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2024.122794>
- Butler, I. P., Banta, R. A., Tyuftin, A. A., Holmes, J., Pathania, S., & Kerry, J. (2023). Pectin as a biopolymer source for packaging films using a circular economy approach: Origins, extraction, structure and films properties. *Food Packaging and Shelf Life*, 40, 101224. <https://doi.org/10.1016/J.FPSL.2023.101224>
- Fennell, D. A. (2001). A content analysis of ecotourism definitions. *Current Issues in Tourism*, 4(5), 403–421. <https://doi.org/10.1080/13683500108667896>
- Hartiningrum, E., & Maarif, S. (2020). Pemanfaatan Limbah Kain Perca Menjadi Produk Bernilai Ekonomis. *COMVICE: Journal Of Community Service*, 4(2), 37–42. <https://doi.org/10.26533/COMVICE.V4I2.667>
- Hernandez-Hernandez, O., Ferreira-Lazarte, A., Tiwari, B., & Villamiel, M. (2024). Update of high-intensity ultrasound applications for the extraction of pectin from agri-food by-products. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 175, 117728. <https://doi.org/10.1016/J.TRAC.2024.117728>
- Imran, M., & Chew, J. W. (2025). Upcycling citrus waste into porous carbon and aerogel materials: State-of-the-art and prospects. *Carbon Capture Science & Technology*, 16, 100462. <https://doi.org/10.1016/J.CCST.2025.100462>
- Malloy, D. C., & Fennell, D. A. (1998). Codes of ethics and tourism: An exploratory content analysis. *Tourism Management*, 19(5), 453–461. [https://doi.org/10.1016/S0261-5177\(98\)00042-9](https://doi.org/10.1016/S0261-5177(98)00042-9)
- Mamiru, D., & Gonfa, G. (2023). Extraction and characterization of pectin from watermelon rind using acetic acid. *Helijon*, 9(2), e13525. <https://doi.org/10.1016/J.HELION.2023.E13525>
- Moleong, L. J. (2017). *Metodologi penelitian kualitatif*. Remaja Rosdakarya.
- Nawir, H., Djalal, M. R., & Apollo, A. (2018). Pemanfaatan Limbah Eceng Gondok Sebagai Energi Biogas Dengan Menggunakan Digester. *JEEE-U (Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA)*, 2(2), 56–63. <https://doi.org/10.21070/jeee-u.v2i2.1582>
- Nešić, A., Ružić, J., Gordić, M., Ostojić, S., Micić, D., & Onjia, A. (2017). Pectin-polyvinylpyrrolidone films: A sustainable approach to the development of biobased packaging materials. *Composites Part B: Engineering*, 110, 56–61. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2016.11.016>

- Seisun, D., & Zalesny, N. (2021). Strides in food texture and hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*, 117, 106575. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2020.106575>
- Selvarajoo, A., Wong, Y. L., Khoo, K. S., Chen, W. H., & Show, P. L. (2022). Biochar production via pyrolysis of citrus peel fruit waste as a potential usage as solid biofuel. *Chemosphere*, 294, 133671. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.133671>
- Sharma, N., Lal, M., Goel, P., Sharma, A., & Rana, N. P. (2022). Being socially responsible: How green self-identity and locus of control impact green purchasing intentions? *Journal of Cleaner Production*, 357. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131895>
- Sharma, S., Wani, K. M., Mujahid, S. M., Jayan, L. S., & Rajan, S. S. (2026). Review on Pectin: Sources, Properties, Health Benefits and Its Applications in Food Industry. *Journal of Future Foods*, 6(2), 205–219. <https://doi.org/10.1016/J.JFUTFO.2024.04.009>
- Shofinita, D., Feng, S., & Langrish, T. A. G. (2015). Comparing yields from the extraction of different citrus peels and spray drying of the extracts. *Advanced Powder Technology*, 26(6), 1633–1638. <https://doi.org/10.1016/J.APT.2015.09.007>
- Singh, E., Mishra, R., Kumar, A., Shukla, S. K., Lo, S. L., & Kumar, S. (2022). Circular economy-based environmental management using biochar: Driving towards sustainability. *Process Safety and Environmental Protection*, 163, 585–600. <https://doi.org/10.1016/J.PSEP.2022.05.056>
- Teigiserova, D. A., Hamelin, L., Tiruta-Barna, L., Ahmadi, A., & Thomsen, M. (2022). Circular bioeconomy: Life cycle assessment of scaled-up cascading production from orange peel waste under current and future electricity mixes. *Science of The Total Environment*, 812, 152574. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.152574>
- Veisi, H., Jackson-Smith, D., & Arrueta, L. (2022). Alignment of stakeholder and scientist understandings and expectations in a participatory modeling project. *Environmental Science and Policy*, 134, 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.04.004>
- Zebua, D. N., Prima, E. C., Yelliantty, & Garnida, Y. (2025). Effect of a pectin edible coating with lemon peel extract to maintain strawberry fruit's quality during cold storage. *Food and Humanity*, 4, 100541. <https://doi.org/10.1016/J.FOOHUM.2025.100541>
- Zioga, M., Tsouko, E., Maina, S., Koutinas, A., Mandala, I., & Evangelou, V. (2022). Physicochemical and rheological characteristics of pectin extracted from renewable orange peel employing conventional and green technologies. *Food Hydrocolloids*, 132, 107887. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2022.107887>