

PEKTIN

BIOSORBEN

*Yuli Ristianingsih
Indriana Lestari
Wibiana Wulanandari*

Penerbit

LPPM UPN Veteran Yogyakarta

BUKU AJAR

PEKTIN

BIOSORBEN

Penulis:

Yuli Ristianingsih, S.T., M.Eng.

Indriana Lestari, S.T., M. T.

Wibiana Wulanandari, S.T., M.Eng.

Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”

Yogyakarta

**PEKTIN:
BIOSORBEN**

Penulis: Yuli Ristianingsih, S.T., M.Eng.
Indriana Lestari, S.T., M.T.
Wibiana Wulanandari, S.T., M.Eng.

Copyright © 2021, pada penulis

Hak Cipta dilindungi Undang-undang
Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronis maupun mekanis, termasuk memfotocopy, merekam atau dengan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

Diterbitkan oleh:
Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
UPN Veteran Yogyakarta
Jl. Pajajaran (Lingkar Utara), Condongcatur , Yogyakarta,
55283
Telp. (0274) 486188,486733, Fax. (0274) 486400
e-mail: lppm@upnyk.ac.id.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
BAB I.....	- 1 -
PENDAHULUAN.....	- 1 -
1.1. Latar Belakang.....	- 2 -
1.2. Tujuan.....	- 4 -
1.3. Sistematika Penulisan Buku.....	- 4 -
BAB II.....	- 6 -
TINJAUAN PUSTAKA.....	- 6 -
2.1. Sejarah Pektin.....	- 8 -
2.2. Definisi Pektin.....	- 9 -
2.2.1. Struktur Kimia Pektin.....	- 10 -
2.2.2. Pektin Dalam Struktur Tanaman.....	- 13 -
2.2.3. Jenis Pektin.....	- 13 -
2.3. Sumber Bahan Baku Pektin.....	- 16 -
2.3.1. Sumber Konvensional.....	- 16 -
2.3.2. Sumber Non-Konvensional.....	- 17 -
2.4. Teknik Ekstraksi Pektin.....	- 19 -
BAB III.....	- 34 -
KARAKTERISTIK PEKTIN.....	- 34 -

BAB IV	- 42 -
APLIKASI PEKTIN	- 42 -
4.1. Industri Makanan dan Minuman	- 44 -
4.2. Industri Farmasi	- 49 -
4.3. Industri Karet	- 53 -
4.4. Industri Lainnya	- 54 -
BAB V.	- 56 -
APLIKASI PEKTIN UNTUK ADSORPSI LOGAM BERAT ..	- 56 -
5.1. Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi	- 60 -
5.2. Mekanisme Adsorpsi	- 63 -
5.3. Perhitungan Efisiensi Biosorpsi	- 67 -
5.4. Kinetika Biosorpsi	- 67 -
5.5. Adsorpsi Isoterm Langmuir	- 68 -
5.6. Beberapa Contoh Adsorpsi Logam Berat Menggunakan Pektin -	69 -
BAB VI	- 71 -
DAFTAR PUSTAKA	- 74 -

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1. (a) Struktur pektin (b). Model tradisional struktur pektin yang menampilkan homogalakturonan (HG) sebagai rantai punggung dan daerah halus serta daerah berbulu yang terdiri dari unit rhamnogalakturonan-I (RG-I) atau rhamnogalakturonan-II (RG-II). **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. Struktur Dinding Sel Primer Tanaman . **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. Struktur LMP dan HMP... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. Skema Ekstraksi Pektin ... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 5. Ringkasan mekanisme penghilangan pektin (A), hidrogel berbasis pektin (B), dan pektin termodifikasi kimia (C). $M(n)^+$ mewakili logam berat.....-66-

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Sumber Pektin Non-Konvensional.....	- 19 -
Tabel 2. Kondisi Ekstraksi dan Yield Pektin, DM Dari Beberapa Bahan Baku Dengan Metode Ekstraksi Konvensional	- 24 -
Tabel 3. Standar Karakteristik Pektin Menurut IPPA.....	- 35 -
Tabel 4. Ringkasan Adsorpsi Logan Berat Menggunakan Pektin.....	- 70 -

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu wa ta'ala yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan buku yang berjudul “PEKTIN: BIOSORBEN”.

Pektin tidak hanya sebagai pembentuk gel tetapi juga sebagai pengental, penstabil, dan pengemulsi, bahkan telah digunakan sebagai pengganti lemak dan bahan fungsional yang meningkatkan kesehatan, serta penjerap logam berat. Dengan demikian, pektin harus diperhitungkan dalam rangkaian peluang baru untuk pengembangan produk inovatif.

Harapan penulis, buku ini dapat memberikan informasi mengenai pektin, khususnya sebagai materi biosorben. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada banyak pihak yang telah terlibat dan membantu dalam penyusunan dan penyelesaian buku ini. Kepada LPPM juga kami mengucapkan terimakasih karena telah memberikan Dana Hibah Penelitian, sehingga kegiatan penelitian serta penyusunan buku ini dapat terlaksana.

Demikian buku ajar ini disusun dan penulis menyadari masih banyak kekurangan yang ada pada buku ini, saran dan masukan yang membangun dari pembaca adalah upaya penulis dalam perbaikan dan penyempurnaan buku ini kedepannya.

Yogyakarta, Juli 2021
Salam Hormat,

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini berisi pemaparan argumentasi penulisan buku, tujuan penulisan buku, dan sistematika penulisan buku yang sesuai dengan petunjuk penulisan buku ajar.

1.1. Latar Belakang

Pektin merupakan polisakarida penting dengan aplikasi dalam bidang makanan, obat-obatan, dan sejumlah industri lainnya. Keutamaan pektin di sektor makanan terletak pada kemampuannya untuk membentuk gel dengan adanya ion Ca^{2+} atau zat terlarut pada pH rendah. Meskipun mekanisme pasti pembentukan gel belum sepenuhnya diketahui, namun perkembangan penelitian ke arah ini telah signifikan. Tergantung pada pektin, ikatan koordinasi dengan ion Ca^{2+} atau ikatan hidrogen dan interaksi hidrofobik terlibat dalam pembentukan gel. Dalam pektin metoksil rendah, gelasi dihasilkan dari hubungan ionik melalui jembatan kalsium antara dua gugus karboksil yang termasuk dalam dua rantai berbeda yang berdekatan saling kontak dekat. Dalam pektin metoksil tinggi, ikatan silang molekul pektin melibatkan kombinasi ikatan hidrogen dan interaksi hidrofobik antar molekul. Sejumlah faktor seperti pH, keberadaan zat terlarut lain, ukuran molekul, derajat metoksilasi, jumlah dan susunan

rantai samping, dan kerapatan muatan pada molekul - mempengaruhi gelasi pektin. Dalam industri makanan, pektin digunakan dalam selai, jeli, makanan beku, dan baru-baru ini dalam makanan rendah kalori sebagai pengganti lemak dan/atau gula. Dalam industri farmasi, pektin digunakan untuk mengurangi kadar kolesterol darah dan gangguan pencernaan. Aplikasi lain dari pektin termasuk digunakan dalam film yang dapat dimakan, pengganti kertas, busa, dan plasticizer, dll. Selain degradasi pektolitik, pektin rentan terhadap degradasi panas selama pemrosesan, dan degradasi ini dipengaruhi oleh sifat ion dan garam yang ada di dalam sistem. Meskipun pektin berada di dinding sel sebagian besar pomace apel dan kulit jeruk adalah dua sumber utama pektin komersial, karena pembentukan gel dari pektin dari sumber lain buruk. Aplikasi pektin sebagai biosorben masih jarang dibahas dan informasinya masih sangat terbatas.

Berdasarkan ulasan di atas, oleh sebab itu perlu disusun suatu buku yang berisi pengetahuan yang menyeluruh mengenai pektin termasuk di dalamnya definisi, sejarah, fungsi dan kegunaan, teknik ekstraksi, bahan baku, sifat kimia dan fisika, tinjauan khusus penggunaan pektin sebagai biosorben logam berat, serta tantangan dan prospek masa depan pektin.

1.2. Tujuan

Buku ini disusun untuk memberikan pemahaman secara menyeluruh terkait pektin secara umum dan pektin secara khusus dalam upaya mengoptimalkan pemanfaatan limbah biomassa menjadi biosorben dan mengatasi pencemaran logam berat dengan bahan yang ramah lingkungan.

1.3. Sistematika Penulisan Buku

Buku ini mencakup 5 bagian, bagian pertama berupa pendahuluan, berisi latar belakang, tujuan dan sistematika penulisan buku. Bagian kedua berupa tinjauan pustaka yang terdiri dari sejarah dan definisi pektin, sumber bahan baku dan teknik ekstraksi pektin. Pada bagian ketiga berisi sifat fisika dan kimia pektin. Pada bagian keempat berisi aplikasi pektin pada bidang makanan, karet dan pengolahan limbah. Pada bagian kelima berisi peran pektin dalam mengadsorpsi logam. Selanjutnya pada bagian terakhir berisi tantangan dan prospek masa depan pektin, serta penutup. Adapun sistematika penulisan dalam buku ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

BAB II LATAR BELAKANG

BAB III KARAKTERISTIK PEKTIN

BAB IV APLIKASI PEKTIN

BAB V PERAN PEKTIN UNTUK ADSORPSI LOGAM

**BAB VI TANTANGAN DAN PROSPEK MASA DEPAN
PEKTIN**

BAB VII PENUTUP

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

BAB II. PEKTIN

Makanan nabati juga mengandung berbagai komponen makanan yang kaya akan fitokimia bioaktif dan sangat penting bagi tubuh manusia yang dapat memberikan manfaat kesehatan yang diinginkan di luar nutrisi dasar. Pektin adalah polisakarida kompleks alami, tidak beracun, banyak ditemukan di dinding sel tumbuhan, dan dapat diperoleh dari berbagai sumber alami seperti kulit jeruk dan pomace apel. Pomace apel dari kulit, pulp, dan biji, dan mewakili sekitar 25% dari sisa pemrosesan apel.

Pektin adalah salah satu polisakarida nonpati (NSPs), yang merupakan fraksi utama dari dinding sel tanaman dalam asosiasi dan / atau disubstitusi dengan polisakarida lain, yang mencakup berbagai macam fungsi biologis dan struktur kimia. Umumnya, pektin diisolasi dari produk sampingan agro-pangan menggunakan teknologi ekstraksi dengan munculnya teknik baru dan efektif yang cenderung ke arah proses yang lebih bersih. Pektin merupakan bahan makanan bernilai fungsional tinggi yang banyak digunakan sebagai agen pembentuk gel. Pektin banyak digunakan baik di bidang pangan (sebagai bahan pembentuk gel, pengental, dan penstabil) maupun dalam industri farmasi (komponen bioaktif) termasuk aplikasi

biomedis (penghantaran obat, rekayasa jaringan, dan penyembuhan luka) sebagai aplikasi inovatif. Saat ini penggunaan pektin meluas, salah satunya sebagai biosorben.

2.1. Sejarah Pektin

Sejarah pektin dapat ditelusuri kembali ke abad ke-18, pada tahun 1750, bermula dari resep jeli yang terbuat dari apel, kismis, dan kiwi – semua buah yang kaya akan pektin membentuk gel. Namun, baru bertahun-tahun kemudian, pada tahun 1820-an, pektin pertama kali diisolasi dan terbukti menjadi kunci untuk pembuatan selai dan jeli. Kemudian, pada 1920-an dan 1930-an, muncul pabrik-pabrik yang secara komersial mengekstrak pektin dari ampas apel kering dan kulit jeruk yang dibangun di daerah-daerah yang menghasilkan jus apel dan jeruk baik di Amerika Serikat maupun di Eropa.

Pektin pertama kali dikomersialkan di Jerman pada awal abad ke-20. Sekarang pektin diproduksi dengan standar keamanan dan kualitas yang tinggi di seluruh dunia, baik di Amerika Serikat, Eropa, Amerika Latin dan Cina. Pada awalnya pektin dijual dalam bentuk ekstrak cair, namun saat ini pektin sering digunakan sebagai bubuk kering yang lebih mudah disimpan dan ditangani daripada berbentuk cair (IPPA, 2002).

2.2. Definisi Pektin

Pektin merupakan heteropolisakarida kompleks yang sebagian besar tersusun atas asam galakturonat dengan variasi jumlah, komposisi, struktur, dan berat molekul. Polisakarida ini sering berasosiasi dengan komponen dinding sel lain seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin. Pektin merupakan komponen multifungsi dinding sel yang paling melimpah dari semua tanaman darat. Secara umum, pektin terletak di dinding sel primer dan lamela tengah dari banyak tanaman, pada letak yang paling terakhir, yang tinggi konsentrasinya, dengan penurunan konsentrasi dimulai dari dinding sel primer menuju membran plasma (Lara-Espinoza et al., 2018).

Pektin biasanya diproduksi selama tahap awal pertumbuhan dinding sel primer dan merupakan sekitar sepertiga bagian dari zat kering dinding sel beberapa tanaman monokotil dan dikotil. Pektin menyusun sekitar 35% dari dinding sel primer tanaman dikotil dan monokotil non-gramineae, hingga 5% dari dinding jaringan kayu dan 2-10% dari rumput dan dinding primer *commelinoid* lainnya. Pektin pada dasarnya terdiri dari ikatan (1,4) asam D-galaktronik (GaIA) dan berbagai gula netral seperti arabinosa, galaktosa, rhamnosa dan jumlah gula lainnya yang lebih sedikit. Ikatan asam D-galakturonat (1,4) dapat diasetilasi dan diesterifikasi

dengan metil. GalA menyusun sekitar 70% pektin, semua pektin mengandung GalA yang terhubung pada posisi O-1 dan O-4. Pektin memiliki rantai punggung anionik linier dengan daerah yang tidak memiliki rantai samping yang dikenal sebagai "daerah halus (*smooth regions*)" dan daerah dengan rantai samping non-ionik yang dikenal sebagai "daerah berbulu (*hairy regions*)" (Noreen et al., 2017).

2.2.1. Struktur Kimia Pektin

Secara struktural, pektin merupakan heteropolisakarida yang terdiri dari tiga sub unit penyusun utama, yaitu homogalakturonan (HG), rhamnogalakturonan-I (RG-I) dan rhamnogalakturonan-II (RG-II). Struktur pektin secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 1.

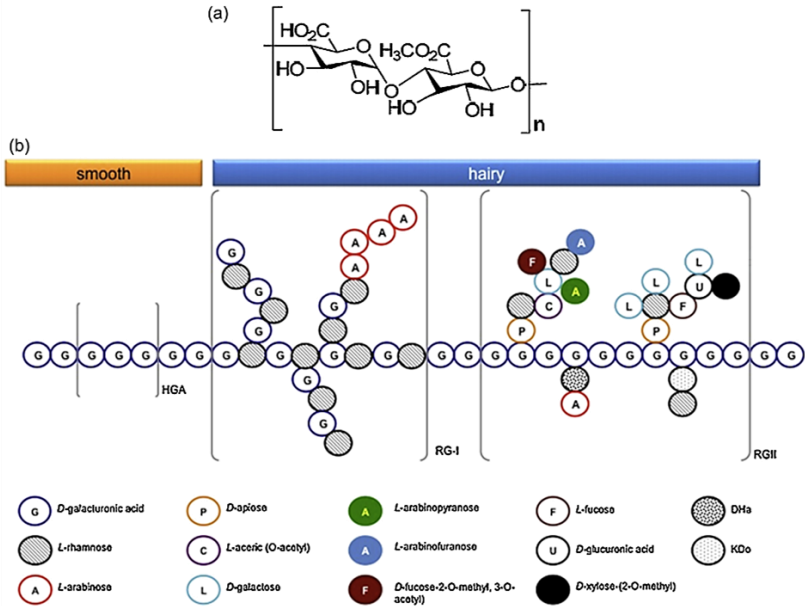
Penyusun struktur pektin dijelaskan sebagai berikut:

Homogalakturonan (HG). HG adalah jenis pektin utama di dinding sel tanaman yang menyusun 65% pektin. Terdiri dari domain linier panjang "halus" asam α -(1 \rightarrow 4)-galakturonat (GalA), yang mungkin sebagian termetoksilasi pada karboksil C₆ dan/atau O-asetilasi pada O₂ dan/atau O₃ (Gambar 1). Menurut derajat metoksilasi ($DM = degree\ of\ methoxylation$), pektin dapat digolongkan menjadi pektin metoksil rendah (LMP = *low methoxyl pectin*) atau pektin metoksil tinggi (HMP

= *high methoxyl pectin*) dengan masing-masing DM <50% dan >50%. Residu GalA nonmetoksilat dari HG dapat terionisasi, memberikan kemampuan pektin untuk mengikat ion logam.

Rhamnogalakturonan-I (RG-I). RG-I menyusun sekitar 20–35% pektin dan memiliki struktur yang lebih kompleks daripada HG (Gambar 1), memiliki rantai punggung disakarida berulang lebih dari 100 unit [\rightarrow 4)- α -D-GalA-(1, 2)- α -L-rhamnose-(1 \rightarrow)]. Posisi C₄ rhamnose sebagian dapat berikatan dengan sejumlah rantai samping yang berbeda (terutama arabinan dan/atau (arabino) galaktan).

Rhamnogalakturonan-II (RG-II). RG-II menyusun sekitar 10% pektin dan merupakan komponen struktural yang lebih kompleks (Gambar 1). Meskipun hadir dalam jumlah kecil tetapi memainkan peran sentral dalam arsitektur dinding sel tumbuhan. RG-II memiliki tujuh hingga sembilan residu α -(1 \rightarrow 4)-GalA, diantaranya empat sisi struktural yang terdefinisi dengan baik berikatan (R. Wang et al., 2019).



Gambar 1 (a) Struktur pektin (b). Model tradisional struktur pektin yang menampilkan homogalakturonan (HG) sebagai rantai punggung dan daerah halus serta daerah berbulu yang terdiri dari unit rhamnogalakturonan-I (RG-I) atau rhamnogalakturonan-II (RG-II).

(Noreen et al., 2017)

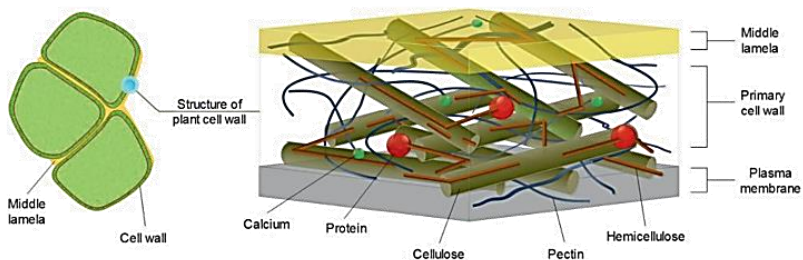
Keterangan penunjang Gambar 1:

DHa = *Deoxylyxo Heptulopyranosylaric acid*

KDo = *Ketodeoxymanno octulopyranosylaric acid*

2.2.2. Pektin Dalam Struktur Tanaman

Pektin ditemukan pada bagian dinding sel primer tanaman. Setiap jenis tanaman memiliki jumlah, struktur dan komposisi kimia pektin yang berbeda. Pektin berkontribusi pada kekencangan dan struktur jaringan tanaman, terlibat dalam adhesi antar sel dan ketahanan mekanis dinding sel. Gambar 2 menunjukkan letak pektin pada dinding sel primer tanaman.



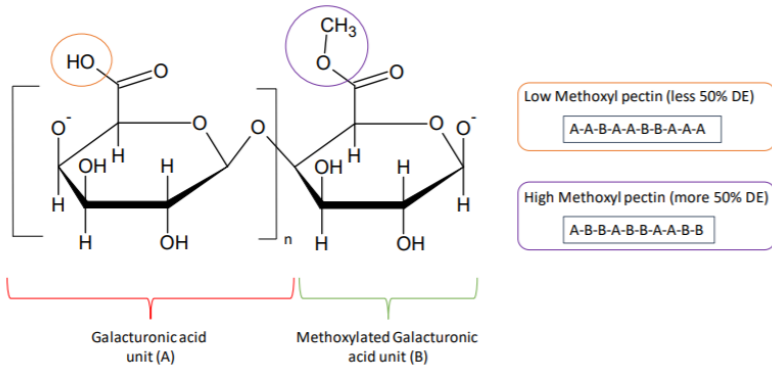
Gambar 2 Struktur Dinding Sel Primer Tanaman

(Dranca & Oroian, 2018)

2.2.3. Jenis Pektin

Derajat esterifikasi (DE = *degree of esterification*) atau jumlah gugus metoksi rendah (LMP = *Low methoxyl pectin*) dan tinggi (HMP = *High methoxyl pectin*) yang menggantikan bagian asam karboksilat (COOH) pada residu asam galakturonat digunakan untuk mengklasifikasikan berbagai

jenis pektin. DE mempengaruhi mekanisme gelasi, kondisi pemrosesan dan sifat pektin. Struktur LMP dan HMP dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Struktur LMP dan HMP

(Mellinas et al., 2020)

LMP memiliki DE kurang dari 42,9%, atau berkisar 20 – 40 %. LMP banyak digunakan dalam industri makanan untuk membentuk selai rendah gula karena tidak memerlukan gula dalam jumlah besar untuk gelasi. LMP menunjukkan sensitivitas yang rendah terhadap keasaman (pH) dan membutuhkan sejumlah ion Ca^{2+} atau kation divalent untuk pembentukan gel. Jumlah ion Ca^{2+} mempengaruhi elastisitas dan kekuatan gel LMP, semakin banyak ion Ca^{2+} yang digunakan, semakin elastis dan kuat gel yang dihasilkan, karena

konsentrasi Ca^{2+} yang tinggi meningkatkan modulus simpan dan kekuatan gel dengan pembentukan jembatan kalsium pada gugus karboksil yang terdisosiasi. LMP dapat membentuk gel yang relatif stabil pada kisaran pH 3,5-9,5 menggunakan NaOH sebagai pengatur pH. LMP umumnya dibentuk dari de-esterifikasi HMP. Empat jenis senyawa yang digunakan untuk pembuatan LPM dari HMP yaitu asam, alkali, pektin metil esterase dan amonia dalam alkohol atau amonia pekat cair. LMP digunakan sebagai matriks pengkapsulan pada industri farmasi karena sifatnya yang tahan terhadap asam dan enzim pencernaan (Usmiati et al., 2018).

HMP memiliki DE lebih besar dari 42,9%, atau sekitar 60 – 75%. HMP utamanya digunakan untuk aplikasi pengalengan dan untuk gelasi, membutuhkan gula dalam jumlah tinggi dan sangat sensitif terhadap keasaman (pH). HMP membentuk gel pada pH rendah (sekitar 3) dan pada konsentrasi tinggi padatan dapat terlarut karena adanya ikatan hidrogen dan interaksi hidrofobik antara rantai pektin (Noreen et al., 2017). Pada HMP semakin tinggi DE maka dibutuhkan suhu yang tinggi untuk membentuk gel. HMP digunakan sebagai bahan penstabil dan pengental pada sistem koloid di industri makanan dan minuman (Usmiati et al., 2018).

2.3. Sumber Bahan Baku Pektin

Buah dan beberapa produk samping makanan dapat dianggap sebagai bahan baku untuk menghasilkan produk bernilai tambah yang diperkaya dengan pektin. Pektin tidak hanya sebagai pembentuk gel tetapi juga sebagai pengental, penstabil, dan pengemulsi, pengganti lemak dan bahan fungsional yang meningkatkan kesehatan, bahkan telah digunakan sebagai biosorben logam berat. Dengan demikian, pektin harus diperhitungkan dalam rangkaian peluang baru untuk pengembangan produk inovatif.

2.3.1. Sumber Konvensional

Berdasarkan sejarah, pektin komersial sebagian besar diekstraksi dari kulit jeruk (85,5%), pomace dan pulp atau ampas apel (4,2 – 19%) dan dari industri gula (0,5%). Sumber tanaman pektin lainnya dari kulit dan pulp beberapa buah, dan sayur, seperti anggur, lemon, jeruk nipis, kentang, tomat dan wortel.

Pektin dari apel, jeruk, dan bit gula (*sugar beet*), memiliki rantai punggung HG yang dibentuk oleh setidaknya 72-100 residu asam D-galakturonat, tingkat metilasi menjadi salah satu parameter kunci pada kemampuan pembentukan gel. Proses gelasi dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti jumlah,

distribusi gugus karboksil bebas dan berat molekul, tetapi juga oleh faktor-faktor lain seperti konsentrasi kalsium, pH, kekuatan ionik, dan suhu. Pektin dari pomace dan pulp apel kaya akan gula netral (arabinose, galaktosa, rhamnosa, glukosa dan xilosa). Pektin dari bit gula memiliki jumlah rantai samping gula netral yang lebih banyak yaitu daerah berbulu, dan tingkat asetilasi yang lebih tinggi.

Pektin apel menghasilkan gel yang lebih elastis dan kental, sedangkan pektin jeruk menghasilkan gel yang lebih rapuh dan elastis. Pektin bit gula menghasilkan gel yang kurang baik, hal ini dikaitkan dengan kandungan gugus asetilnya yang lebih tinggi, berat molekul yang lebih rendah, jumlah protein yang terikat secara kovalen pada rantai lateral yang lebih tinggi dan kadar gula netral yang lebih besar. Namun demikian, pektin bit gula memiliki sifat pengemulsi yang lebih besar daripada pektin yang diekstraksi dari sumber konvensional lainnya (Robledo et al., 2019).

2.3.2. Sumber Non-Konvensional

Limbah sayuran lainnya merupakan sumber pektin baru. Ada beberapa sumber pektin yang non-konvensional yang berasal dari makanan, residu sayuran, dan spesies tanaman yang memiliki kandungan pektin dan sifat fisikokimia yang berbeda.

Sebagai contohnya, residu kepala bunga matahari memiliki sifat pembentuk gel berdasarkan berat molekulnya yang tinggi dan kandungan GalA yang tinggi. Pektin jenis ini mengandung sekitar 3,5 - 5,0 % HMP yang larut dalam air dan antara 12 dan 14% pektin rendah metoksil yang tidak larut.

Pektin dari pomace zaitun (produk sampingan semi-padat dari industri minyak zaitun) memiliki berat molekul yang rendah dan kandungan gula netral yang tinggi (seperti pektin bit) serta persentase asetilasi yang tinggi, yang memfasilitasi pembentukan gel melalui interaksi ionik dengan kalsium. Di antara 5 – 8% pektin dari pomace zaitun memiliki sifat pengemulsi yang cocok untuk penggunaan komersial dan juga memiliki sifat antioksidan dan fungsional untuk tingkat serat makanan yang tinggi. Pektin kulit wortel menampilkan tingkat linieritas yang sangat tinggi, DM yang lebih rendah, dan kelarutan yang lebih baik daripada pektin yang diekstraksi dari pomace wortel, sehingga lebih baik dalam mekanisme pembentuk gel.

Pulp dan kulit labu menghasilkan pektin yang baik digunakan sebagai agen pengkelat. Kulit pisang terdiri dari sekitar 1/4 dari total berat buah dan mengandung sedikit pektin yang larut dalam air untuk tujuan pembentuk gel, pengentalan, atau penstabil. Pektin semangka segar menunjukkan tingkat

metil esterifikasi yang tinggi dan massa molar yang rendah, cocok sebagai pengemulsi, zat penstabil, dan zat pengental.

Sumber pektin non-konvensional lainnya dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Sumber Pektin Non-Konvensional

Sumber Bahan Baku	Teknik Ekstraksi	Kandungan Pektin (%)	Referensi
Kulit markisa	UAE	10 – 30,30	Oliveira et al. (2016)
Kulit mangga	UAE	9,20 – 31,80	Wang et al., (2016)
Kulit nangka	UAE	8,94 – 14,5	Moorthy et al. (2017)
Kulit jeruk bali	UAE	21,5	Q. Peng et al. (2014)
Pomace apel dan kulit jeruk	SWE	14,0 – 21,9	Wang et al. (2014)
Pulp sugar beet	SWE	6,5 – 24,8	Chen et al. (2015)
Limbah kulit pepaya	MAE	11,11 – 49,83	Maran & Prakash (2015)
Limbah kulit manga	MAE	9,20 – 31,80	Andersen et al. (2017)
Kulit jeruk keprok (tangerine)	MAE	19,9	Chen et al. (2016)
Opuntia ficus-indica cladodes	MAE	12,56	Kamal et al. (2020)

UAE = Ultrasound Assisted Extraction; SWE = Subcritical Water Extraction; MAE = Microwave Assisted Extraction

2.4. Teknik Ekstraksi Pektin

Ekstraksi pektin diatur oleh perpindahan massa pektin ke dalam media ekstraksi, dengan demikian kesesuaian metode ekstraksi dapat dinilai dari hasil dan kualitas pektin yang

diperoleh. Pektin di dinding sel tidak larut dan disebut "protopektin". Proses ekstraksi dimulai dengan hidrolisis protopektin dengan asam mineral encer yang panas. Ikatan antara gula pada rantai samping dan dinding sel terputus dan pektin dilepaskan ke media ekstraksi. Pektin kemudian dipekatkan dan dipisahkan dengan berbagai cara dan akhirnya dikeringkan (Gambar 4).

2.4.1. Teknik Tradisional

Dalam industri, ekstraksi pektin umumnya dilakukan dengan menggunakan larutan asam kuat seperti asam nitrat, sulfat, fosfat, dan asam klorida, dengan cara pemanasan. Ekstraksi pektin konvensional membutuhkan waktu beberapa jam untuk mendapatkan hasil yang baik menggunakan air mendidih. Selama proses pemanasan dengan waktu yang cukup lama, terjadi degradasi termal pektin oleh reaksi eliminasi beta (β -elimination) dan debranching menghasilkan pektin berkualitas rendah. Oleh karena itu, pektin diekstraksi dalam media berair asam (pH 1,5-3) antara 75 dan 100 °C selama 1-3 jam dengan pengadukan terus menerus. Teknik ekstraksi pektin menggunakan asam mineral telah dikaitkan dengan masalah lingkungan dan peningkatan biaya. Berkenaan dengan munculnya konsep "kimia hijau (green chemistry)" dan

"teknologi hijau (*green technology*)", maka fokus pengembangan metode ini mulai beralih ke asam organik (asam asetat dan sitrat). Koagulasi yang diperoleh kemudian disaring untuk mendapatkan ekstrak pektin, selanjutnya dicuci, dikeringkan di bawah kondisi vakum, dan pada langkah akhir digiling menjadi bubuk halus. Antara penyaringan dan pencucian, ekstrak dapat mengalami langkah-langkah yang berbeda, misalnya, warna pektin apel dapat dihilangkan dengan menggunakan karbon aktif, dan sisa pati dapat didegradasi menggunakan amilase. Selain itu, de-esterifikasi kimia, asam, dan/atau basa dapat digunakan untuk mendapatkan pektin LMP. Pektin yang diekstraksi umumnya memiliki DM antara 55 dan 75% dan berat molekul yang tinggi. Pemilihan pelarut didasarkan pada beberapa kriteria, yaitu kelarutan komponen tertentu, kapasitas tinggi zat terlarut yang dapat dipisahkan, selektivitas, stabilitas, dan viskositas rendah (Dranca & Oroian, 2018). Chelating Agent (CHA), seperti oksalat, telah digunakan untuk ekstraksi pektin. Efisiensi CHA pada ekstraksi pektin dipengaruhi oleh kandungan Ca^{2+} dan distribusi gugus asam bebas dalam rantai HG. CHA melarutkan pektin dengan berat molekul tinggi dengan DM tinggi. Media larutan asam dengan pH rendah merangsang hidrolisis dan kelarutan protopektin dan mendorong penghilangan Ca^{2+} dan Mg^{2+} , sehingga

memungkinkan hasil isolasi yang lebih tinggi dari pektin yang diperkaya HG. Pektin yang diekstraksi alkali biasanya memiliki banyak oligomer RG-I bercabang dengan rantai samping arabinan dan galaktan, DM rendah, dan hasil rendah (Mao et al., 2019).

Ekstraksi pektin konvensional menggunakan asam mineral memiliki beberapa kelemahan, seperti degradasi pektin, hilangnya beberapa senyawa volatil, peningkatan biaya untuk produksi, dan masalah lingkungan. Oleh karena itu, asam organik seperti asam sitrat dan asam asetat cukup diminati untuk mengatasi kelemahan ini. Meskipun asam mineral kuat lebih murah dan lebih efektif daripada asam organik untuk mengekstrak pektin, penggunaan asam organik dalam ekstraksi pektin menyebabkan lebih sedikit hidrolisis dan lebih sedikit depolimerisasi pektin yang diekstraksi daripada penggunaan asam mineral. Penggunaan asam sitrat dengan pemanasan microwave memberikan nilai DE lebih tinggi daripada menggunakan HCl dengan metode yang sama, hal ini dikarenakan asam kuat dapat menyebabkan demetilasi dan fragmentasi poligalakturonan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa asam sitrat menjadi agen pendegradasi pektin yang lebih sedikit dibandingkan dengan HCl. Hal ini diduga pektin yang diekstraksi dengan asam organik memiliki berat molekul yang

lebih tinggi dibandingkan dengan pektin yang diekstraksi menggunakan asam mineral. Derajat esterifikasi menurun dengan bertambahnya waktu pemanasan (Rasheed, 2008). Metode ekstraksi yang berbeda menyebabkan produksi pektin dengan DE yang berbeda. Pelarut harus memiliki viskositas rendah agar mudah masuk ke dalam matriks tanaman. Waktu dan suhu memiliki efek merusak pada dinding sel tumbuhan, sehingga memfasilitasi difusi pelarut dan ekstraksi pektin. Dalam proses ekstraksi, suhu tinggi memudahkan pelarutan pektin dan meningkatkan hasil. Namun, ekstraksi pektin pada suhu yang sangat tinggi berdampak pada hidrolisis pektin menjadi rantai pendek yang tidak diendapkan oleh etanol, sehingga mempengaruhi hasil. Suhu tinggi juga mengurangi tingkat esterifikasi pektin (Kulkarni & Vijayanand, 2010). Dari perspektif waktu ekstraksi, pelarut harus cukup untuk melarutkan komponen target dalam jumlah yang cukup sejak ekstraksi terjadi hingga tercapai keseimbangan. Di sisi lain, waktu ekstraksi yang lama dapat menyebabkan degradasi pektin. Oleh karena itu, untuk mencapai kondisi yang diinginkan, suhu dan waktu ekstraksi harus dioptimalkan. Rasio bahan padat (bahan baku) terhadap cair (pelarut) biasanya dipertahankan antara 1:10 dan 1:50 untuk ekstraksi pektin. Bila rasio ini kurang dari 1:10, maka akan menyebabkan rendemen

pektin rendah karena jumlah pelarut tidak cukup untuk melarutkan dan mengekstrak pektin. Hasil ekstraksi pektin meningkat mengikuti peningkatan rasio padat terhadap cair melalui peningkatan kapasitas disolusi. Luas permukaan bahan dan agitasi juga efektif dalam meningkatkan kualitas proses ekstraksi pektin (Belkheiri et al., 2021). Tabel 2 merangkum ekstraksi pektin dari bahan baku dan pelarut yang berbeda dengan menggunakan metode ekstraksi konvensional.

Tabel 2. Kondisi Ekstraksi dan Yield Pektin, DM Dari Beberapa Bahan Baku Dengan Metode Ekstraksi Konvensional

Bahan Baku	Kondisi Ekstraksi					Yield (%)	DM (%)
	Pelarut	Suhu °C	pH	P/C	Waktu		
Kulit papaya Altaf et al. (2018)	HCl	80	2	1:50	60 min	53,4	70,5
Pomace apel Besson et al. (2014)	HNO ₃	90	1,5	1:25	70 min	25,5	41,7
Kulit semangka Jiang et al. (2012)	H ₂ SO ₄	90	1	1:20	150 min	17,6	41,2
Limbah kulit terong Kazemi et al. (2019)	Asam sitrat	90	2,5	1:40	90 min	26,1	60,2
Pulp kentang Yang et al. (2018)	Asam sitrat	90	2,04	1:15	60 min	14,34	37,45

2.4.2. Teknik Hijau (*Green Chemistry*)

Metode ekstraksi konvensional banyak digunakan tetapi memiliki kelemahan, seperti waktu proses lama, rendemen yang rendah, dan risiko degradasi pektin. Dengan demikian, proses hijau baru diterapkan untuk meningkatkan efisiensi ekstraksi (hasil), mempertahankan sifat tekno-fungsional pektin, dan mengurangi konsumsi pelarut. Beberapa alternatif termasuk ekstraksi dengan gelombang mikro, ekstraksi dengan enzim, penggunaan cairan subkritis, ekstraksi dengan ultrasonik (U), tekanan hidrostatik tinggi, dan pelarut eutektik dalam atau kombinasi dari metode-metode ini (Belkheiri et al., 2021).

Microwave-Assisted Extraction (MAE). Microwave-assisted extraction (MAE) adalah metode hijau di mana pelarut polar menyerap energi gelombang mikro dan terdiri dari dua medan tegak lurus yang bersilasi: medan listrik dan magnet (Routray & Orsat, 2012). MAE dianggap sebagai metode ekstraksi cepat yang melibatkan radiasi elektromagnetik dalam rentang frekuensi gelombang mikro pada sampel untuk menghasilkan energi panas dalam pelarut. Energi gelombang mikro memulai transfer elektroforesis ion dan elektron yang menghasilkan medan listrik yang menggerakkan partikel, sedangkan rotasi dipol disebabkan oleh perpindahan molekul polar secara bergantian. Energi gelombang mikro

meningkatkan efisiensi proses ekstraksi, dibandingkan dengan teknik pemanasan konvensional (Fishman et al., 2006). Panas yang dihasilkan merupakan faktor penting dalam proses ekstraksi karena suhu yang lebih tinggi menghasilkan peningkatan laju difusi, sehingga meningkatkan hasil ekstraksi. Selain itu, sifat dielektrik sampel dan pelarut, serta kelarutan senyawa dalam pelarut juga mempengaruhi laju ekstraksi dan kualitas senyawa yang diekstraksi (Belkheiri et al., 2021). MAE dapat membatasi depolimerisasi pektin dalam pelarut asam. Radiasi gelombang mikro berdampak pada matriks dinding sel dan menyebabkan terputusnya sel parenkim, sehingga membuka jaringan kulit. Dengan demikian dapat menyebabkan peningkatan interaksi antara bahan baku dan pelarut selama proses ekstraksi. Oleh karena itu, permeasi pelarut ekstraksi meningkat dan efisiensi ekstraksi dapat ditingkatkan dengan meningkatkan daya gelombang mikro (Marić et al., 2018)

Ekstraksi Enzimatis. Enzim digunakan untuk meningkatkan proses ekstraksi dengan menghidrolisis matriks dinding sel tanaman. Reaksi ini menghancurkan dinding sel dan meningkatkan permeabilitas sel. Ekstraksi enzimatis tergantung pada konsentrasi enzim, suhu reaksi, waktu, ukuran partikel bahan tanaman, dan jenis enzim (Poojary et al., 2017). Ekstraksi pektin secara enzimatis dilakukan oleh pektinase

yang merupakan enzim yang diekstraksi dari jamur. Pektinase adalah istilah umum yang menunjuk beberapa spesies enzim, termasuk esterase (pektin metil esterase), hidrolase (endo- dan exopolygalacturonases), dan liase (pektin liase). Ekstraksi enzimatik bertujuan untuk mengganggu dan merusak ikatan glikosidik pektin, yang berakibat pada penurunan viskositas larutan, memfasilitasi filtrasi dan sentrifugasi. Metode ini memiliki keuntungan, karena lebih sedikit menimbulkan polusi daripada metode yang lainnya. Selain itu, pektinase memiliki reaktivitas spesifik terhadap pektin. Namun, ekstraksi enzimatik cukup mahal dan reaksinya sulit dikendalikan, karena metode ini dapat menyebabkan degradasi dan hilangnya sifat-sifat pektin (Belkheiri et al., 2021). Enzim-enzim yang umumnya digunakan dalam metode ini antara lain: selulase, protease, alcalase, hemiselulase, pektin liase, xilanase, α -amilase, protease (seperti Neutrase dari Novozymes), β -glukosidase, endo- dan pektinesterase (Marić et al., 2018).

Ultrasonic-Assisted Extraction (UAE). Ultrasonikasi telah banyak digunakan dalam industri makanan baik untuk dimanfaatkan efek kimia dan/atau fisiknya. Gelombang ultrasonic yang digunakan untuk ekstraksi mulai dari 20 hingga 100 kHz. UAE digunakan untuk mengurangi waktu ekstraksi dan meningkatkan rendemen, jika dibandingkan dengan metode

konvensional (hidrolisis dalam media asam). Dalam metode UAE, gelombang suara melewati media cair, menciptakan kompresi dan ekspansi. Proses ini menyebabkan kavitasi, yaitu produksi, pertumbuhan, dan runtuhnya gelembung. Hal ini menyebabkan terbentuknya gelembung mikroskopis yang tidak stabil yang memiliki suhu dan tekanan tinggi. Kavitasi terjadi di dekat permukaan material target. Akibatnya, mempengaruhi matriks tanaman dan memungkinkan penetrasi yang lebih baik dari pelarut ekstraktor, sehingga efisiensi ekstraksi lebih baik (Belkheiri et al., 2021).

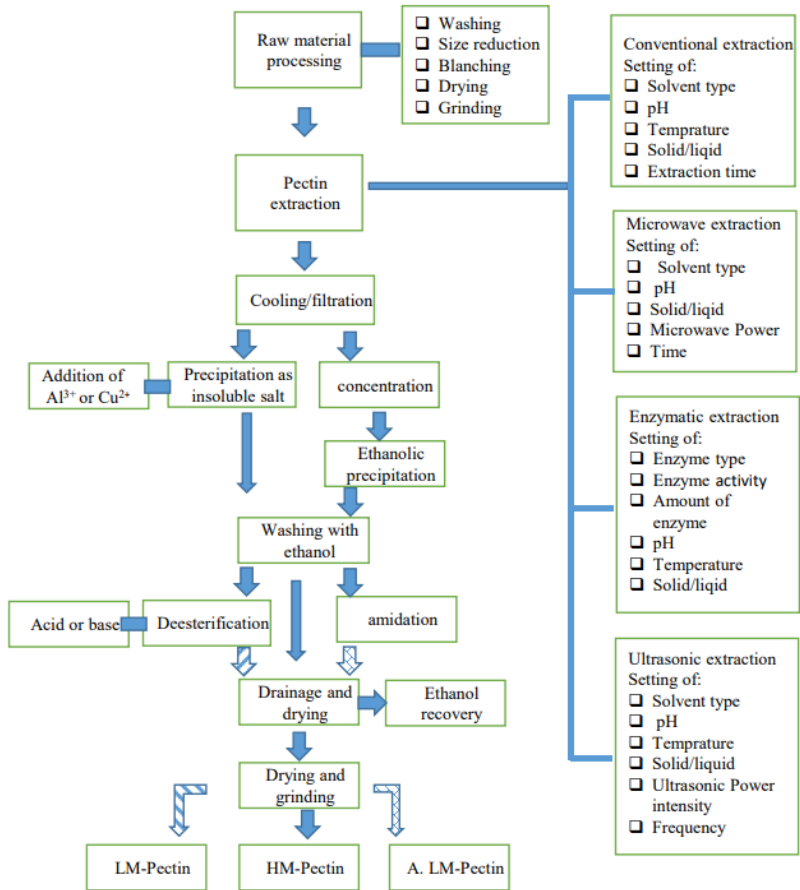
Kelebihan UAE yang signifikan adalah pengurangan waktu ekstraksi, ukuran peralatan, konsumsi energi, dan peningkatan hasil ekstraksi, serta dianggap lebih ramah lingkungan daripada metode konvensional. Sebaliknya, polisakarida yang diekstraksi UAE memiliki viskositas, massa molekul, dan derajat esterifikasi yang lebih rendah (Freitas et al., 2020). Parameter utama UAE meliputi frekuensi dan intensitas gelombang suara, waktu sonikasi, jenis pelarut, dan suhu. Peningkatan frekuensi menyebabkan pengurangan produksi dan intensitas kavitasi dalam cairan. Intensitas merupakan faktor ekstraksi yang penting. Peningkatan intensitas dapat meningkatkan kemampuan ekstrak pektin dengan merusak sel tanaman, sehingga meningkatkan hasil

pektin. Namun, intensitas daya yang tinggi juga dapat menghasilkan efek sebaliknya, yaitu penurunan hasil pektin. Oleh karena itu, optimasi variabel ultrasonik sangat penting. Efisiensi ekstraksi UAE dapat ditingkatkan secara signifikan melalui kombinasi dengan teknologi lain seperti pemanasan gelombang mikro (Belkheiri et al., 2021).

Dielectric Barrier Discharge Plasma Extraction (DBD). Plasma, keadaan materi keempat, melibatkan gas terionisasi sebagian yang mengandung spesies reaktif seperti ion negatif dan positif, elektron, atom gas, radikal bebas, dan foton. DBD digunakan untuk mendegradasi biopolimer, termasuk protein dan polisakarida. Radikal bebas hidroksil yang dihasilkan oleh elektron berenergi tinggi dari proses DBD menyerang rantai pektin dan mendegradasinya menjadi molekul dengan ukuran lebih kecil (Belkheiri et al., 2021).

Subcritical Water Extraction (SWE). Ekstraksi sub/supercritis dicapai ketika pelarut mengalami kondisi dengan tekanan dan suhu di bawah/di luar titik kritis (tekanan dan suhu di mana fase gas dan cair tidak ada). Air subkritis memiliki sifat unik, yaitu ikatan hidrogen antara molekul air melemah dengan meningkatnya suhu, dan konstanta dielektrik berubah dalam rentang yang besar. Produk ion air (Kw) meningkat secara dramatis dengan meningkatnya suhu hingga

270 °C. Oleh karena itu, air subkritis efektif untuk ekstraksi senyawa polar dan non-polar, termasuk ekstraksi selulosa, minyak atsiri dan pektin dari kulit jeruk. Pektin yang diperoleh dengan SWE pada suhu tinggi (> 100 °C) diperkaya dalam GalA, tidak memiliki RG-I, memiliki DM tinggi, berat molekul rendah, serta yield yang diperoleh relatif lebih rendah dibandingkan dengan metode ekstraksi hijau lainnya. Hasil pektin lebih rendah karena pektin didekomposisi menjadi monosakarida atau molekul kecil dalam waktu yang lebih lama pada suhu yang lebih tinggi. Keuntungan yang paling signifikan dari SWE adalah penghapusan pelarut kimia yang diperlukan dan kualitas ekstrak yang lebih tinggi, serta waktu proses yang lebih singkat (Mao et al., 2019). Gambar 4 merupakan skema ekstraksi pektin dengan berbagai teknik dan variabel utama yang perlu diperhatikan untuk setiap metode.



Gambar 4 Skema Ekstraksi Pektin

(Belkheiri et al., 2021)

Faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan ekstraksi pektin yaitu (Prasetyowati et al., 2009):

- pH (derajat keasaman). Adanya ion hidrogen dapat mensubstitusi kalsium dan magnesium dari molekul protopektin sehingga menyebabkan protopektin terhidrolisis menghasilkan pektin yang larut dalam air.
- Waktu kontak antara bahan baku dengan pelarut. Semakin lama waktu kontak, maka akan memberikan peluang yang lebih banyak pada ion hidrogen untuk dapat mensubstitusi kalsium dan magnesium dari protopektin.
- Ukuran partikel bahan baku. Ukuran partikel berpengaruh terhadap luas permukaan padatan yang dapat diakses oleh pelarut, sehingga akan mempengaruhi jumlah pektin yang terlarut dalam air.
- Suhu ekstraksi. Suhu yang tinggi menyebabkan ikatan antara molekul-molekul protopektin tersebut mudah terlepas dan larut dalam air.
- Rasio bahan baku terhadap pelarut (P/C). Rasio antara pelarut dan bahan ekstraksi berpengaruh terhadap jumlah pektin karena umumnya pelarut memiliki keterbatasan untuk mengikat molekul-molekul pektin
- Jenis atau tipe pelarut.
- Jenis bahan baku yang diekstraksi. Jika bahan yang diekstraksi memiliki struktur yang lunak maka ekstraksi

dapat berlangsung lebih cepat dan banyak molekul yang akan terlarut. Tetapi jika bahan yang diekstraksi memiliki struktur yang keras maka diperlukan perlakuan khusus agar bahan tersebut mudah diekstraksi.

Salah satu indikator keberhasilan ekstraksi pektin dari suatu bahan baku adalah diperolehnya hasil dalam jumlah yang tinggi. Hasil atau yield ekstraksi pektin merupakan perbandingan antara berat pektin kering dengan berat bahan baku. Yield pektin (y_{pec}) dihitung dengan menggunakan rumus (Nguyen & Pirak, 2019):

$$y_{pec}(\%) = \frac{\text{Berat pektin kering (gram)}}{\text{Berat bahan baku mula - mula (gram)}} \times 100 \%$$

BAB III

KARAKTERISTIK PEKTIN

BAB III. KARAKTERISTIK PEKTIN

Sifat fisikokimia dan entitas struktural pektin bergantung pada sumber dan metode ekstraksinya. Pektin berbentuk padatan yang berwarna putih kecoklatan. Sifat fisika lainnya seperti kelarutan, viskositas, dan kemampuan membentuk gel tergantung dari karakteristik kimia pektin itu sendiri seperti kadar metoksil, derajat esterifikasi dan berat molekul. Karakteristik yang membedakan pektin satu dengan lainnya adalah DE dan kadungan metil ester.

International Pectin Producers Assosiation (IPPA) mengeluarkan standar mutu pektin yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Standar Karakteristik Pektin Menurut IPPA

Variabel Mutu	Nilai
Berat Ekuivalen	600 – 800 mg
Kadar Air	Maks. 12%
Kadar Abu	Maks. 10%
Kadar Asam Galakturonat	Min. 65%
Kandungan Metoksil:	
• Metoksil rendah	2,5 – 7,12%
• Metoksil tinggi	> 7,12%
Derajat Esterifikasi:	

• Pektin ester rendah	Min. 50%
• Pektin ester tinggi	Maks. 50%

(Roikah et al., 2016)

Berat ekivalen (EW = *equivalent wight*) merupakan ukuran kandungan gugus asam galakturonat bebas (tidak teresterifikasi) dalam rantai molekul pektin. Nilai berat ekivalen digunakan untuk mengukur asam anhidronik dan derajat esterifikasi. Kenaikan suhu menyebabkan berat ekivalen meningkat, hal ini disebabkan protopektin telah terhidrolisis menjadi pektin dan gugus asam berkurang. Berat ekivalen menunjukkan jenis kandungan metoksil yang terdapat pada pektin yang dapat mempengaruhi kualitas pektin dalam pembentukan gel. Harga berat ekivalen ditentukan berdasarkan reaksi penyabunan gugus karboksil oleh NaOH dimana berat ekivalen akan berbanding terbalik dengan banyaknya volume NaOH yang digunakan untuk bereaksi dengan gugus karboksil. Pengukuran berat ekivalen dianalisis dengan menggunakan metode Owens (1952): Sebanyak 0,5 gram pektin diletakkan dalam 250 ml labu didih dan dilarutkan dengan 5 ml etanol. Kemudian ditambahkan 1 gram NaCl untuk untuk mempertajam titik akhir dan air suling bebas karbon sebanyak 100 ml, serta 6 tetes indikator *phenol red*. Titrasi larutan secara

perlahan-lahan dengan larutan standar NaOH 0,1 N sampai warna indikator berubah menjadi merah muda (pH 7,5) dan disimpan selama minimal 30 detik. Larutan yang telah dinetralkan selanjutnya digunakan untuk menentukan kadar metoksil. Berat ekivalen dihitung dengan rumus:

$$\text{Berat ekivalen} = \frac{\text{Berat sampel (g)}}{\text{Volume NaOH} \times N \text{ NaOH}} \times 100 \%$$

Kadar air (*moisture content*) menyatakan kandungan air yang terdapat dalam pektin. Nilai ini sering direpresentasikan sebagai persentase massa material (seperti X%). Kadar air dalam suatu objek dapat diukur dengan beberapa cara berbeda, seperti dengan metode oven kering atau dengan alat ukur berupa *moisture meter*. Salah satu teknik pengukuran kadar air dengan mengacu pada standar Association of Official Agricultural Chemists (AOAC) Owens (1952): 1 gram pektin ditimbang dan dikeringkan dengan vacuum dryer pada suhu 100 °C selama 4 jam hingga beratnya stabil, kemudian kadar air dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{kadar air} = \frac{\text{berat sampel basah} - \text{berat sampel kering}}{\text{berat sampel basah}} \times 100 (\%)$$

Jika digunakan oven biasa maka pengeringan dilakukan pada suhu 70 °C selama 16 jam. Proses pemurnian pektin baik dengan penguapan atau pada saat pengeringan mempengaruhi

kadar air pektin. Kadar air merupakan parameter untuk menentukan daya tahan suatu produk. Semakin tinggi kadar air menyebabkan kerentanan produk terhadap aktivitas mikroorganisme dan memproduksi enzim pectinase yang berpengaruh terhadap kualitas masa simpan produk.

Kadar abu (*ash content*) merupakan indikator kemurnian pektin dan kriteria pembentukan gel. Kadar abu adalah banyaknya abu setelah pembakaran, yang menunjukkan adanya komponen anorganik yang tertinggal dalam pektin. Semakin kecil kadar abu maka kemurnian pektin akan semakin baik dan semakin mudah membentuk gel. Bahan anorganik dapat berupa kalsium dan magnesium yang terhidrolisis. Kadar abu dapat diukur dengan menggunakan standar AOAC (Owens, 1952), yaitu menimbang 1 – 2 gram sampel pektin berukuran 80 mesh, kemudian diletakkan ke dalam crucible yang telah ditimbang berat kosong (kering), setelah itu crucible dipanaskan dalam furnace dengan suhu 550 °C semalaman. Crucible didinginkan terlebih dahulu sebelum ditimbang dan kadar abu dihitung dengan rumus:

$$\text{Kadar abu} = \frac{\text{Berat setelah pengabuan} - \text{Berat crucible kosong}}{\text{Berat sampel mula - mula}} \times 100 (\%)$$

Total asam anhidroronik (AUA = *anhydrouronic acid*) dikenal juga dengan **Kadar asam galakturonat**. Pektin

merupakan poligalakturonida yang teresterifikasi sebagian, mengandung 10% atau lebih bahan organik yang terdiri dari arabinosa, galaktosa dan mungkin gula. Estimasi AUA sangat penting untuk menentukan kemurnian dan derajat esterifikasi, serta untuk mengevaluasi sifat fisik. Total AUA pektin diperoleh dengan rumus berikut (Mohamed, 1995):

$$\% AUA = \frac{176 \times 0,1 z \times 100}{w \times 1000} + \frac{176 \times 0,1 y \times 100}{w \times 1000}$$

Dengan:

z = volume larutan NaOH yang digunakan pada penentuan EW
(ml)

y = volume larutan NaOH yang digunakan pada penentuan
MeO (ml)

w = berat sampel (g)

1 unit molekul AUA = 176 g

Semakin besar kadar asam galakturonat maka pektin akan semakin murni karena semakin kecil kandungan organiknya.

Kadar metoksil (MeO) menyatakan banyaknya gugus metil yang teresterifikasi selama proses ekstraksi. MeO didefinisikan sebagai jumlah mol metil alkohol dalam 100 mol asam galakturonat. Kandungan metoksil pektin penting untuk mengontrol kekuatan gel, waktu pengikatan, kepekaan terhadap ion logam dan untuk menentukan sifat fungsional larutan

pektin, serta kemampuan pektin untuk membentuk gel. Semakin besar kandungan metoksil maka kemampuan pembentukan gel akan semakin besar. Kualitas pektin yang baik ditandai dengan kecepatan membentuk gel yang kuat dalam waktu yang singkat dan tingkat kelarutan yang tinggi dalam air. Berdasarkan persentase MeO, pektin dibagi menjadi HMP dan LMP. HMP dapat membentuk gel apabila ditambahkan gula (kadar 60-65%) dan asam, sedangkan LMP dapat membentuk gel apabila ditambahkan gula yang rendah 10-20% dan dengan ion kalsium. Persen MeO diukur dengan cara menambahkan sebanyak 25 ml larutan NaOH 0,25 N ke dalam larutan titrasi (sampel pektin), dikocok hingga homogeny, dan didiamkan selama 30 menit pada suhu kamar dalam labu tersumbat. Setelah itu 25 ml larutan HCl 0,25 N dan beberapa tetes indicator PP ditambahkan pada larutan sampel, kemudian sampel dititrasi dengan NaOH 0,1 N sampai diperoleh titik akhir titrasi ditandai dengan perubahan warna menjadi merah muda sama seperti sebelumnya, kemudian kandungan MeO dihitung dengan rumus:

$$MeO (\%) = \frac{meq NaOH \times 31}{Berat sampel (mg)} \times 100 \%$$

Keterangan: 31 adalah berat molekul gugus metoksil

Derajat esterifikasi (DE) menyatakan jumlah residu asam D-galaturonat yang gugus karboksilnya teresterifikasi dengan etanol. Nilai derajat esterifikasi dapat diperoleh dari nilai kadar metoksil dan kadar asam galakturonat. Derajat esterifikasi juga menentukan sifat – sifat pektin terutama kelarutan dan pembentukan gel pada pektin. Derajat esterifikasi juga mempengaruhi nilai viskositas intrinsik, dimana viskositas intrinsik menurun dengan meningkatnya esterifikasi. Derajat esterifikasi yang tinggi menandakan kemampuan pembentukan gel yang baik. DE pektin diukur berdasarkan kandungan MeO dan AUA dan dihitung dengan rumus berikut (Owens, 1952):

$$\% DE = \frac{176 \times \%MeO}{31 \times \%AUA \times 100}$$

BAB IV

APLIKASI PEKTIN

BAB IV. APLIKASI PEKTIN

Aplikasi utama pektin adalah sebagai bahan pembuat tekstur pada bahan makanan, kosmetik dan produk perawatan pribadi. Dalam industri farmasi, pektin digunakan dalam formulasi tablet matriks *controlled-release*, misalnya, sebagai bahan pembawa dalam penghantaran obat yang ditargetkan mencapai ke usus besar.

Gum polisakarida adalah polimer alami hidrofilik kompleks dengan banyak sifat fungsional dan banyak digunakan sebagai pengubah tekstur, pengental, pelapis dan agen pembentuk gel dalam berbagai makanan dan produk lainnya. Pektin memiliki biodegradabilitas, biokompatibilitas dan non-toksisitas yang baik, menjadikannya biomaterial yang baik untuk berbagai aplikasi seperti farmasi, *nutraceuticals*, kemasan makanan dan kosmetik, serta biosorben. Kation monovalen yaitu garam logam alkali pektin biasanya larut dalam air sedangkan kation di- dan trivalen sebagian atau seluruhnya tidak larut dalam air. Pektin terlarut dan terurai dengan cepat melalui de-esterifikasi atau depolimerisasi. Laju dekomposisi tergantung pada pH dan suhu larutan. Stabilitas maksimum pektin adalah pada pH 4. pH rendah dan suhu tinggi meningkatkan laju degradasi karena hidrolisis ikatan glikosidik.

Pada pH basa, pektin dengan cepat mengalami de-esterifikasi dan terdegradasi pada suhu kamar (Noreen et al., 2017).

4.1. Industri Makanan dan Minuman

Pektin dalam industri makanan dan minuman digunakan sebagai pengental, stabilizer, dan emulsifier. Pektin dapat membentuk jaringan struktural dan larutan viskoelastik dan banyak digunakan dalam roti, keju, jeli, selai jeruk, marmalade dan selai. Pektin menunjukkan viskositas tinggi dan perilaku *shear-thinning* yang kuat seiring dengan meningkatnya konsentrasi.

Aplikasi pektin dalam industri makanan adalah:

1. Bahan prebiotik

Prebiotik adalah bahan stimulasi selektif pertumbuhan dan aktivitas satu atau sejumlah genus/spesies mikroba tertentu di dalam usus yang dapat memberikan manfaat kesehatan bagi inangnya. Pektin dianggap sebagai makanan berserat yang larut dan memberikan efek fisiologis pada saluran pencernaan, seperti mengurangi penyerapan glukosa, meningkatkan efek hipokolesterolemia, dan menunda pengosongan lambung. Meskipun masih dalam skala penelitian, oligosakarida yang diperoleh dari pektin merupakan kandidat yang sangat baik untuk prebiotik generasi baru. Produk fermentasi kulit jeruk Valencia

menunjukkan efek bifidogenik, dan konsentrasi beberapa asam organik rantai pendek seperti asetat, butirat, dan propionat meningkat setelah fermentasi. Beberapa hasil penelitian lainnya juga menunjukkan bahwa oligosakarida mampu melindungi dari patogen *Escherichia coli* dan mampu menghambat invasi sel Caco-2 dari *Campylobacter*, juga melindungi kolonosit terhadap verotoksin *E. coli* dan stimulasi apoptosis pada sel adenokarsinoma usus besar manusia (Moslemi, 2021).

2. Bahan untuk meningkatkan tekstur dan rasa pada produk susu

Sebagai agen pembentuk gel, agen pengental dan penstabil dalam aplikasi makanan, pektin adalah bahan yang banyak digunakan dalam minuman susu yang diasamkan. Pektin dapat memberikan kekuatan stabilisasi protein yang lebih baik, sehingga menciptakan rasa yang lebih ringan di mulut dan lebih menyegarkan dalam minuman susu yang diasamkan. Misalnya, dalam minuman susu asam rasa jeruk, sampel yang menggunakan pektin memiliki rasa dan tekstur yang lebih segar.

Fungsionalitas pektin bervariasi dengan tingkat kesegaran kulit buah yang digunakan dalam proses pembuatannya, sehingga kedekatan dengan lokasi sumber bahan baku perlu

diperhatikan, misalnya kedekatan dengan daerah penanaman jeruk diperlukan untuk mendapatkan kulit jeruk yang segar, sehingga memungkinkan produksi pektin yang berfungsi lebih baik dengan kekuatan stabilisasi protein yang tinggi dan karakteristik sensorik yang baik. Menggabungkan kemampuan ekspresi rasa, khususnya rasa di mulut mulut yang menyegarkan dan stabilisasi protein, pektin adalah bahan berharga untuk membantu produsen makanan menciptakan diferensiasi sensorik dalam produk minuman susu yang diasamkan.

3. Bahan penyerap lemak rendah pada keripik kentang.

Deep fat frying adalah proses memasak kering yang melibatkan perendaman potongan makanan dalam minyak panas yang bertujuan untuk menyiapkan makanan khusus yang memiliki struktur lunak di dalam, rapuh di luar dan lembut, namun tetap menjaga rasa makanannya. Salah satu parameter penting dari produk *deep fat frying* adalah jumlah kandungan minyak dalam produk tersebut. Makanan yang digoreng dengan kandungan minyak rendah memiliki tekstur yang keras dan kurang baik. Namun, penggunaan minyak yang lebih tinggi tidak ekonomis untuk proses dan mengarah ke produk tinggi lemak yang dapat menjadi tidak menarik. Pelanggan cenderung mencari produk makanan

dengan kandungan minyak rendah dan hal ini mendorong penemuan-penemuan baru yang bertujuan untuk mengurangi kandungan minyak dari produk akhir. Penyerapan minyak selama *deep fat frying* tergantung pada banyak faktor seperti kualitas minyak, suhu dan lama penggorengan, komposisi makanan (misalnya kadar air dan padatan, porositas), perlakuan pra-penggorengan (yaitu pengeringan parsial dan blansing), ukuran makanan, tempat penggorengan, serta perlakuan setelah penggorengan seperti ketika makanan dikeluarkan dari minyak goreng dan didinginkan ke suhu sekitar.

Melapisi makanan menjadi metode yang efektif untuk mengurangi penyerapan minyak selama penggorengan dalam. Ada bahan pelapis yang berbeda, di antaranya, hidrokoloid lebih menarik karena merupakan penghalang yang baik untuk lemak. Beberapa hidrokoloid yang umum digunakan adalah protein, turunan selulosa, alginat dll. Itu bisa dilakukan dengan perendaman atau penyemprotan. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa perendaman irisan kentang dalam larutan pektin, guar dan CMC dapat mengurangi penyerapan minyak dan menghasilkan kualitas dan tekstur yang lebih baik untuk produk akhir, selain itu pelapisan dengan kombinasi kalsium klorida dan pektin

atau natrium alginat dapat mengurangi serapan minyak kentang goreng secara signifikan. Penyerapan minyak terendah dilaporkan untuk sampel yang dilapisi dengan campuran 0,5% kalsium klorida dan 5% pektin (Daraei Garmakhany et al., 2014).

4. Bahan enkapsulasi

Seperti halnya biopolimer bermuatan lain seperti kitosan dan alginat yang digunakan untuk tujuan pelapisan atau enkapsulasi, pektin dapat berikatan langsung dengan bahan makanan sebagai lapisan pelindung. Pektin digunakan untuk tujuan enkapsulasi dalam ilmu dan teknologi pangan berfungsi menutupi rasa organoleptik yang tidak diinginkan dari beberapa senyawa bioaktif seperti minyak ikan atau melindungi komponen sensitif terhadap kondisi lingkungan yang ekstrim, baik sebagai senyawa tunggal ataupun dalam kombinasi dengan biopolimer lainnya.

5. Bahan 3D printed untuk makanan

Sebagai temuan baru, pektin telah digunakan dalam teknologi inovatif seperti produksi makanan cetak 3D dan masih terus dikembangkan termasuk merumuskan dan merancang makanan yang disesuaikan sebelum dikonsumsi dengan campuran bahan baku berdasarkan status fisiologis dan kebutuhan nutrisi.

6. Bahan pengontrol lemak dan energi pada produk susu

Pektin merupakan salah satu karbohidrat yang banyak digunakan dalam industri susu. Pektin berfungsi sebagai pengganti lemak susu dalam produk susu bebas lemak. Untuk meningkatkan nilai gizi makanan, produk susu rendah lemak diproduksi, sedangkan lemak susu jenuh umumnya diganti dengan minyak nabati tak jenuh emulsi. Penggunaan pektin LMS sangat membantu dalam produksi yogurt rendah lemak komersial karena interaksinya dengan protein susu menuju penurunan sineresis dan induksi tekstur homogeny (Moslemi, 2021).

4.2. Industri Farmasi

Dalam industri farmasi, tanaman dan produk tanaman terus digunakan sebagai sumber obat dan eksipien. Secara khusus, polimer yang berasal dari tumbuhan telah memberikan kontribusi peran penting dalam sistem penghantaran obat di mana mereka berfungsi sebagai eksipien. Eksipien mengacu pada bahan non-farmakologis yang diperlukan untuk mengubah Bahan Farmasi Aktif (*Active Pharmaceutical Ingredient = API*) menjadi bentuk sediaan. *International Pharmaceutical Excipients Council* mendefinisikan eksipien sebagai semua zat yang terkandung dalam bentuk sediaan selain zat aktif atau

bentuk sediaan jadi, yang telah dievaluasi keamanannya secara tepat dan termasuk dalam sistem penghantaran obat. Eksipien termasuk dalam sistem penghantaran obat untuk membantu dalam pemrosesan selama pembuatan, melindungi, mendukung, meningkatkan stabilitas, bioavailabilitas dan penerimaan pasien, membantu dalam identifikasi produk, atau meningkatkan aspek lain dari keamanan dan keefektifan sistem penghantaran obat secara keseluruhan selama penggunaan atau penyimpanan.

Pektin banyak digunakan untuk emulsifier bagi preparat cair dan sirup, obat diare pada bayi dan anak-anak seperti dextrimaltose, kaopek, nipektin, dan intestisan, obat penawar racun logam, bahan penurun daya racun dan meningkatkan daya larut obat-obatan sulfat, bahan penyusut kecepatan penyerapan bermacam-macam obat, bahan kombinasi untuk memperpanjang ketja hormon dan antibiotik, bahan pelapis perban (pembalut luka) untuk menyerap kotoran dan jaringan yang rusak atau hancur sehingga luka tetap bersih dan cepat sembuh, bahan hemostatik, oral, atau injeksi untuk mencegah pendarahan.

1. *Drug Delivery System (DDS)*

DDS adalah sistem yang menawarkan berbagai solusi dalam penghantaran obat seperti: material dan sistem penghantaran obat oral, sistem pengiriman obat parenteral dan implan, pengiriman obat trans-mukosal, dll. Pentingnya penggunaan pektin didasarkan pada kemampuannya membentuk gel, sehingga berpotensi sebagai eksipien; pektin telah digunakan sebagai agen pengikat dalam tablet, pembawa untuk pengiriman obat ke saluran pencernaan dari tablet matriks, dan sebagai matriks *controlled-release* dalam formulasi tablet. Controlled release menunjukkan bahwa pelepasan obat dari bentuk sediaan terjadi sesuai dengan yang direncanakan, dapat diramalkan dan lebih lambat dari biasanya. Pektin juga telah digunakan sebagai sistem penghantaran obat pelepasan lambat (*sustained-release*) dalam manik-manik gel yang disiapkan dengan metode gelasi ionotropik, pembawa penghantaran obat spesifik usus besar, dan bentuk sediaan berlapis film. Dalam sediaan lepas lambat obat akan dilepaskan dari sediaanannya dengan kecepatan lambat dan konstan dalam jangka waktu tertentu, sehingga akan sangat menguntungkan untuk tujuan pengobatan tertentu yang memerlukan kadar obat dalam plasma relative konstan pada jangka waktu lama.

2. *Bioadhesive System*

Kemampuan pektin dalam menyerap air, mengembang dan membentuk ikatan bioadhesif dengan jaringan biologis digunakan dalam pembuatan formulasi mukoadhesif seperti bahan penambal. Pektin juga telah ditemukan berguna sebagai obat penenang dalam pelega tenggorokan yang memberikan bantuan sementara untuk ketidaknyamanan ringan dan melindungi daerah yang teriritasi di mulut yang sakit dan sakit tenggorokan. Efek antihemoragik pektin juga telah digunakan dalam penyembuhan luka sebagai perekat medis.

3. *Disperse System*

Pektin telah terbukti memiliki potensi penstabil busa dan emulsifikasi karena protein dan gugus asetil hidrofobik dari pektin dapat bertindak sebagai jangkar pada permukaan partikel minyak, sehingga menurunkan tegangan permukaan. Pektin juga telah digunakan sebagai pengemulsi minyak-air, dan sebagai penambah viskositas dalam mencerna lipid. Selain itu, pektin memperlambat transit lambung yang membantu mengontrol asupan energi sehingga digunakan oleh pengamat berat badan, karena kapasitas pengikatan air yang besar dari pektin mengurangi kontak antara enzim usus dan makanan, sehingga memperpanjang waktu pengosongan lambung, dan

memungkinkan pengurangan yang nyata dalam jumlah dan frekuensi makan. Selanjutnya, interaksinya dengan senyawa polifenol menyebabkan antiinflamasi sistemik.

4. *Health Benefit*

Dalam industri farmasi, pektin telah digunakan baik untuk manfaat kesehatan maupun sebagai eksipien. Pektin sebagai agen aktif sebelumnya digunakan dalam campuran obat diare, bersama dengan kaolin dan kadang-kadang senyawa bismut, dan dalam obat bubuk luka dan pembalut ulkus dimana pektin memiliki beberapa aktivitas spesifik dalam mempromosikan penyembuhan. Pektin juga ditemukan memiliki manfaat kesehatan tertentu seperti mengurangi perkembangan kanker, menurunkan kolesterol darah dan kadar glukosa darah melalui domain yang berbeda dari struktur pektin, dan merangsang respon imun.

(Akin-Ajani & Okunlola, 2021)

4.3. Industri Karet

Pada industri karet pektin digunakan sebagai bahan pembantu dalam proses penggumpalan lateks, memperbaiki warna, konsistensi kekentalan, dan stabilitas produk yang dihasilkan (Ristianingsih et al., 2014)

Peristiwa perubahan fase sol menjadi gel dengan bantuan bahan penggumpal (koagulan) disebut dengan penggumpalan. Lateks akan menggumpal jika muatan listrik diturunkan (dehidratasi), pH lateks diturunkan (penambahan asam H⁺) dan penambahan elektrolit. Penurunan pH lateks dapat terjadi baik secara alami maupun disengaja atau adanya perlakuan khusus pada lateks seperti penambahan bahan penggumpal. Penambahan pektin pada proses pengentalan karet dapat menurunkan pH karena pektin bersifat asam dengan adanya gugus karboksilat. Pektin akan terhidrolisis menghasilkan asam pektat dan asam pektinat. Semakin tinggi penambahan pektin maka pH semakin menurun. Apabila lateks ditambahkan dengan asam akan terjadi penurunan pH sampai pada titik isoelektrik sehingga partikel karet menjadi tidak bermuatan. Protein pada lateks yang kehilangan muatan akan mengalami denaturasi sehingga selubung protein yang berfungsi melindungi partikel karet akan terjadi tumbukan yang menyebabkan terjadinya koagulasi (Afrianto, 2014).

4.4. Industri Lainnya

Aplikasi pektin lainnya yaitu pada pengolahan air. Di sini pektin digunakan sebagai biosorben untuk menghilangkan logam berat dan dalam ekskresi mineral beracun seperti timbal,

kadmium, strontium, atau arsenik. Dalam bidang kosmetik, pektin digunakan sebagai *plasticizer*, *texturizer* dan perekat untuk pasta gigi, sabun, lotion, krim, dan pomade, dan dalam aplikasi biomedis, pektin digunakan sebagai tinta biomaterial untuk membuat penyangga khusus pasien ketika cross-linked dengan 3-glycidyoxypropyl trimethoxysilane (GPTMS) (Akin-Ajani & Okunlola, 2021). Selain itu pektin juga digunakan dalam industri baja dan perunggu (*quenching*), industri plastik, industri tekstil, industri bahan sintetis, serta film nitropektin.

BAB V.

APLIKASI PEKTIN UNTUK ADSORPSI LOGAM BERAT

BAB V. APLIKASI PEKTIN UNTUK ADSORPSI LOGAM BERAT

Selama beberapa dekade terakhir, industrialisasi berkembang pesat menyebabkan pelepasan logam berat ke lingkungan terus meningkat. Melalui rantai makanan, logam berat dapat masuk dan terakumulasi dalam tubuh, dan menyebabkan kerusakan serius. Penghilangan dan daur ulang logam berat sangat penting untuk perlindungan lingkungan, masalah kesehatan dan penggunaan kembali sumber daya. Pektin tersedia dari berbagai sumber alami dan dapat digunakan sebagai adsorben serbaguna untuk logam berat.

Ada sejumlah teknologi seperti pertukaran ion, filtrasi membrane, ekstraksi pelarut, ultra filtrasi, reverse osmosis, adsorpsi, koagulasi-flokulasi-sedimentasi telah dikembangkan untuk menghilangkan logam berat dari air limbah. Biosorpsi tampaknya menjadi metode yang paling serbaguna dan efisien, dengan kelebihan berupa ramah lingkungan, operasi sederhana, biaya rendah dan ketersediaan bahan yang mudah. Beberapa bahan limbah berbasis agro seperti ganggang laut, pomace zaitun, kulit kacang tanah, batang bunga matahari, kulit jeruk dan kulit kemiri telah diteliti untuk menghilangkan logam berat

dari larutan air. Biopolimer seperti selulosa, kitosan, alginat dan pektin dapat dijadikan adsorben karena memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi, biokompatibilitas, serta daya serap yang baik. Limbah kaya pektin dan pektin telah terbukti memiliki afinitas yang kuat terhadap ion logam dan dianggap sebagai biosorben yang menjanjikan dalam banyak penelitian. Namun, aplikasi pektin dan turunannya sebagai adsorben logam berat belum sepenuhnya dikembangkan.

Kapasitas adsorpsi dan selektivitas pektin untuk logam berat tampaknya tergantung pada bahan baku pektin (sumbernya). Sebagai contoh, kapasitas serapan Pb^{2+} oleh pektin jeruk, pektin nopal dan pektin apel berturut-turut adalah 176 mg/g, 26,6 mg/g, dan 147–180 mg/g. Dalam hal selektivitas, afinitas ion logam dengan pektin nopal mengikuti urutan sebagai berikut: $\text{Ca}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Cr}^{3+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Cd}^{2+}$. Hasil penelitian lainnya menunjukkan urutan afinitas pengikatan yang berbeda untuk pektin jeruk dan bit gula, yaitu $\text{Cu}^{2+} \approx \text{Pb}^{2+} \gg \text{Zn}^{2+} > \text{Cd}^{2+} \approx \text{Ni}^{2+} \geq \text{Ca}^{2+}$. Sementara itu, pektin dari sumber yang sama dapat memiliki perbedaan struktur yang berbeda karena metode ekstraksi dan waktu panen yang berbeda, sehingga dapat mempengaruhi kinerja adsorpsinya.

Oleh karena itu, untuk membuat adsorben dari pektin dalam skala industri, mungkin perlu menetapkan luas tanam, waktu panen dan metode ekstraksi yang seragam untuk standarisasi produksi pektin.

Afinitas pektin terhadap logam berat juga bergantung pada jenis kation, dimana Zn^{2+} terikat lebih kuat oleh pektin dibandingkan dengan ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} , yang terutama karena elektronegativitas Zn^{2+} yang lebih tinggi. Selain itu laju adsorpsi gel pektin mengikuti urutan: $Cu^{2+} > Pb^{2+} > Cd^{2+}$. Cu^{2+} memiliki parameter kinetik tertinggi, hal ini diduga karena ukuran ioniknya yang lebih kecil dibandingkan dengan Pb^{2+} dan Cd^{2+} . Selanjutnya, kemampuan mengikat Ce^{3+} pada senyawa pektin pada umumnya lebih buruk dibandingkan ion logam divalen Zn^{2+} dan Pb^{2+} karena lebih sedikit zona sambungan yang dibentuk oleh Ce^{3+} . Beberapa pektin tidak dapat dibandingkan karena adanya perlakuan awal (*pretreatment*) sebelum proses adsorpsi yang berbeda-beda.

Kelemahan utama yang membatasi pektin sebagai adsorben untuk menghilangkan logam berat adalah sulitnya memisahkan pektin yang teradsorpsi dari larutan berair dan kurangnya stabilitas. Aglomerasi selalu terbentuk selama

adsorpsi, yang sering menghasilkan cake padat, dan sulit untuk disaring. Selain itu, pektin tidak dapat diaplikasikan sebagai adsorben logam berat untuk jangka panjang di bawah kondisi lingkungan dan praktis karena kurangnya kekuatan mekanik. Semua kekurangan ini secara langsung membatasi aplikasi pektin terlarut sebagai adsorben dalam industri. Beberapa upaya seperti pembuatan hidrogel berbasis pektat dan pektin yang dimodifikasi secara kimia dilakukan untuk mengatasi kelemahan tersebut (Wang et al., 2019).

5.1. Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Faktor – faktor yang mempengaruhi adsorpsi logam berat dengan pektin yaitu:

1. pH

pH larutan merupakan faktor penting yang mempengaruhi kinerja adsorben berbasis pektin terhadap adsorpsi logam berat. Pada nilai pH rendah (biasanya $\text{pH} < 4,0$), kapasitas pengikatan pektin terhadap Zn^{2+} dan Ce^{3+} ditemukan sangat rendah, kemudian meningkat dengan naiknya pH, dan berkurang kembali ketika pH meningkat terus menerus (biasanya $\text{pH} > 6,0$). Fenomena ini terjadi karena sistem pektin- $\text{M}^{(n)+}$ memiliki ketergantungan pH yang kuat. Baik

muatan dan potensi pektin dan spesiasi ion logam berubah dengan pH. Di satu sisi, jumlah situs pengikatan yang disediakan dengan gugus karboksil bebas dari pektin berubah dengan pH. Pada pH rendah akan memfasilitasi protonasi gugus karboksil dalam pektin, berkontribusi pada pembalikan muatan dan penurunan aktivitas pengikatan ion logam. Pada pH tinggi (biasanya $\text{pH} > 8$), pektin tidak stabil karena β -eliminasi. Di sisi lain, hidro-kompleks ion logam sering terbentuk dengan meningkatnya pH. Misalnya, spesies kimia Zn^{2+} terutama $\text{Zn}(\text{OH})_2$, $\text{Zn}(\text{OH})_3$, serta $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$ pada pH 12,0. Senyawa ini tidak terdisosiasi dalam larutan dan memiliki ukuran besar, yang hampir tidak berinteraksi dengan gugus karboksil bebas dalam molekul pektin, menyebabkan kapasitas pengikatan yang lebih rendah (Wang et al., 2019).

2. Kekuatan ion dan anion

Selain nilai pH, kekuatan ionik merupakan parameter penting lainnya yang mempengaruhi sifat adsorpsi pektin. Natrium umumnya ada dalam banyak larutan, dan konsentrasi Na^+ yang tinggi menghasilkan kekuatan ionik yang tinggi di mana jumlah logam berat yang terikat oleh pektin menjadi berkurang. Pengaruh kekuatan ionik dapat

diartikan dengan kompetisi Na^+ dengan logam berat untuk ikatan elektrostatik pada pektin. Sebagai ion, Na^+ lebih suka menarik secara elektrostatik dengan pektin yang bermuatan negatif daripada membentuk ikatan koordinat yang kuat dengannya. Efek Na^+ nyata ditemukan pada penyerapan ion logam yang terikat lemah seperti Mg^{2+} , sedangkan logam yang terikat kuat (misalnya Cu^{2+}) jarang dipengaruhi oleh kekuatan ionik. Kalsium dapat membentuk ikatan spesifik dan koordinasi dengan pektin, dengan demikian memiliki dampak yang lebih besar daripada Na^+ pada pengikatan logam berat. Ion – ion lain yang mempengaruhi sifat adsorpsi pektin adalah kation K^+ dan anion seperti SO_4^{2-} , Cl^- dan NO_3^- (Tiwari et al., 2009).

3. Waktu kontak

Waktu kontak adalah waktu yang digunakan untuk mencapai keadaan setimbang. Kesetimbangan adsorpsi biasanya ditentukan dengan cara mengukur nilai serapan logam berat yang diperoleh setelah terjadi interaksi senyawa pektin dengan ion logam untuk periode waktu yang berbeda. Waktu kontak memberikan informasi mengenai waktu minimum yang dibutuhkan untuk adsorbs

ion logam dalam jumlah yang besar, dan dapat digunakan untuk mengontrol difusi yang terjadi antara adsorbat.

4. Temperatur

Pengaruh suhu terhadap adsorpsi ion logam berat ke pektin secara umum dievaluasi oleh parameter termodinamika, yaitu entalpi (ΔH^0), entropi (ΔS^0) dan energi bebas Gibb (ΔG^0). Parameter – parameter tersebut digunakan untuk mengevaluasi arah dan kelayakan reaksi adsorptif, serta dapat memberikan informasi mengenai energi yang ada pada adsorpsi logam berat. ΔH^0 yang bernilai positif menunjukkan bahwa adsorpsi bersifat endotermik, artinya peningkatan adsorpsi terjadi seiring dengan kenaikan suhu. ΔG^0 yang bernilai negatif menunjukkan adsorpsi merupakan proses spontan. Sedangkan nilai ΔS^0 yang positif mencerminkan afinitas adsorben yang baik terhadap logam berat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh suhu pada sifat adsorpsi pektin adalah *case-sensitive* ion logam dan bergantung pada asal pektin (Wang et al., 2019).

5.2. Mekanisme Adsorpsi

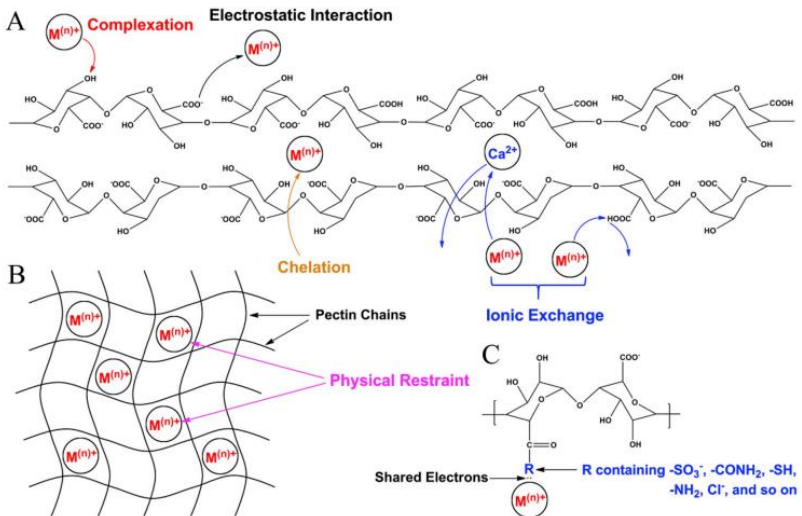
Proses biosorpsi logam berat dengan adsorben hayati merupakan proses yang kompleks dan mekanismenya bisa

bervariasi tergantung bahan baku adsorben yang digunakan. Apabila didasarkan pada metabolisme sel, maka mekanismenya dapat dibagi menjadi adsorpsi yang tergantung pada metabolisme sel dan yang tidak tergantung pada metabolisme sel. Bila bahan baku biosorpsi adalah dari limbah pertanian, maka mekanisme yang mungkin adalah tidak tergantung pada metabolisme sel. Mekanisme biosorpsi pada bahan-bahan ini umumnya didasarkan pada interaksi kimia fisika antara ion logam dengan gugus fungsional yang ada pada permukaan sel. Interaksi tersebut dapat berupa interaksi elektrostatik, ion exchange maupun pembentukan kompleks chelat (kelat). Sementara proses biosorpsi sendiri dapat dibagi dalam dua proses utama yaitu adsorpsi ion pada permukaan sel serta bioakumulasi sel adsorben (Kurniasari et al., 2012).

Mekanisme adsorpsi logam berat pada pektin dijelaskan sebagai berikut: Mekanisme interaksi antara molekul logam berat dan pektin utamanya dianggap sebagai pembentukan daerah pengikatan spesifik yang didefinisikan sebagai “*egg box*” (Plazinski, 2013), di mana mekanisme “*egg box*” mengasumsikan bahwa beberapa gugus karboksil bebas GalA pada pektin sebagai situs pengikatan dan membentuk tautan

dengan logam berat. Namun, ada juga beberapa mekanisme lainnya yang menyatakan bahwa afinitas logam berat dapat dikaitkan dengan pembentukan pektat. Pektat dibentuk oleh ikatan ion logam dengan pektin melalui gugus karboksilat GalA dan/atau gugus hidroksil dari matriks polisakarida. Pembentukan pektat ini dapat dicapai dengan pertukaran ion dan mekanisme kompleksasi. (Celus et al., 2017) dan (Celus et al., 2018) mengusulkan mekanisme adsorpsi bahwa ion $\text{Ca}^{2+}/\text{Zn}^{2+}$ terikat dengan COO^- dan gugus fungsi lainnya seperti ^-OH pada pektin dengan DM > 40%, sedangkan ikatannya menjadi terbatas pada gugus COO^- untuk LMP (DM <40%). Selain itu, interaksi antara pektin dan logam berat mungkin juga bergantung pada kation. Hal ini diduga bahwa Zn^{2+} terikat dengan COO^- dan ^-OH dari GalA, namun Ca^{2+} hanya berinteraksi dengan gugus karboksilat dari pektin (Assifaoui et al., 2015;). Dalam hidrogel pektat-Ca, mekanisme adsorpsi logam pada dasarnya bergantung pada pertukaran ion antara ion logam berat dengan kelat Ca^{2+} atau H^+ dari asam karboksilat. Selain itu, beberapa kation logam dipertahankan dalam gel melalui difusi sederhana dalam struktur polimer, yang terutama ditentukan oleh porositas gel (Gbr. 5B). Dalam kasus pektin yang dimodifikasi secara kimia, adsorpsinya

terhadap logam berat dihasilkan dari pengenalan gugus fungsi, seperti $-\text{SO}_3$, $-\text{CONH}_2$ dan $-\text{SH}$, yang berbeda dari gugus karboksil dalam kapasitas donor, tetapi juga membentuk struktur spesifik dengan kelompok tertentu (Gbr. 5C).



Gambar 5 Ringkasan mekanisme penghilangan pektin (A), hidrogel berbasis pektin (B), dan pektin termodifikasi kimia (C). $\text{M}(\text{n})^+$ mewakili logam berat.

(R. Wang et al., 2019)

5.3. Perhitungan Efisiensi Biosorpsi

Efisiensi penghilangan logam berat dalam cairan dengan adsorben pektin dihitung menggunakan persamaan:

$$\% \text{ LB yang dihilangkan} = \frac{[LB]_{awal} - [LB]_{akhir}}{[LB]_{awal}} \times 100\%$$

Keterangan:

LB : Jenis logam berat yang dihilangkan

[LB] : Konsentrasi logam berat sebelum dan setelah biosorpsi
(mg/L)

Konsentrasi logam dapat dihitung dengan menggunakan spektrofotometer.

5.4. Kinetika Biosorpsi

Kinetika proses biosorpsi dapat mengikuti model *pseudo first order*/persamaan reaksi tingkat satu semu atau *pseudo second order*/persamaan reaksi tingkat dua semu.

Reaksi *pseudo first order* dirumuskan:

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2,303} t$$

Reaksi *pseudo second order* dirumuskan:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{t}{q_e} + \frac{1}{k_2 q_e^2}$$

Dengan:

- t : waktu
- k_1 : tetapan laju reaksi pseudo orde 1
- k_2 : tetapan laju reaksi pseudo orde 1
- q_e : kapasitas adsorpsi pada saat kesetimbangan
- q_t : kapasitas adsorpsi pada saat waktu t

5.5. Adsorpsi Isoterm Langmuir

Adsorpsi dan desorpsi merupakan proses kesetimbangan. Dan seperti proses kesetimbangan yang lain, maka distribusi sorbat di dalam fluida dan padatan dipengaruhi oleh sistem termodinamika. Data kesetimbangan umumnya disajikan dalam bentuk isotherm, yaitu diagram yang menunjukkan perubahan kesetimbangan antara konsentrasi yang terjerap dengan konsentrasi di fase fluida atau tekanan parsial pada suhu tertentu. Ada beberapa model kesetimbangan isotherm adsorpsi, dan kesetimbangan biosorpsi logam berat juga dapat mengikuti salah satu dari model yang ada. kesetimbangan isotherm biosorpsi pektin dapat mengikuti model Langmuir. Model ini dalam bentuk linier dituliskan dengan persamaan:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_{max}} + \frac{1}{bq_{max}}$$

Dengan:

C_e : konsentrasi logam berat pada kesetimbangan

q_e : kapasitas logam teradsorp pada kesetimbangan
(mmol/g pectin)

q_{max} : kapasitas adsorpsi maksimal (mmol logam/g pectin)

b : konstanta kesetimbangan (1/mmol logam)

Parameterparameter adsorpsi ini dapat dihitung dari kurva C_e/q_e vs C_e . Harga konstanta kesetimbangan ini menunjukkan afinitas antara biomass dengan logam berat. Semakin besar harga konstanta kesetimbangan maka semakin besar pula afinitas adsorben terhadap logam berat. Model kesetimbangan Langmuir mengasumsikan bahwa permukaan adsorben terdiri dari situs aktif dimana adsorbat hanya teradsorpsi pada situs aktif dan tidak terjadi interaksi antar adsorbat. Model kesetimbangan biosorpsi logam berat dapat pula mengikuti model Freunlich (Kurniasari et al., 2012).

5.6. Beberapa Contoh Adsorpsi Logam Berat Menggunakan Pektin

Ringkasan kapasitas adsorpsi, gugus yang bertanggung jawab, model kinetik dan isoterm yang sesuai, serta mekanisme

penghilangan adsorben berbasis pektin terhadap jenis ion logam disajikan pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4 Ringkasan Adsorpsi Logam Berat Menggunakan Pektin (Wang et al., 2019)

Pektin	Logam Berat	Kapasitas Adsorpsi	Gugus	Kinetika	Adsorpsi Isoterm	Mekanisme
Jeruk	Fe ²⁺	0,191–0,523 mol/mol GalA	Karbonil bebas	-	Langmuir	Egg box
Jeruk	Pb ²⁺	0,85 mmol/g	Asam karboksilat	Pseudo orde	-	Ion Exchange
Nopal	Cr ³⁺	64.9 mg/g	Karboksilat	-	-	Interaksi ion
Nopal	Ca ²⁺	0.81 mg/g	Metoksilat	-	-	-
Nopal	Cu ²⁺	29.3 mg/g	COOCH ₃	-	-	-

BAB VI.
PENUTUP

BAB VII. PENUTUP

Pektin memiliki potensi yang tinggi untuk dimanfaatkan sebagai biosorben mengingat jumlah bahan baku yang tersedia sangat banyak, dapat mengurangi limbah biomassa dan kemampuannya menyerap logam berat. Hanya saja, pektin yang terdapat pada limbah organik umumnya adalah jenis HMP sehingga untuk dapat diaplikasikan sebagai logam berat, pektin harus didemetilasi atau dimodifikasi terlebih dahulu. Selain itu sayangnya penelitian masih di area laboratorium yang menggunakan limbah-limbah sintesis. Beberapa kegagalan pada studi yang telah dilakukan sebelumnya dengan menggunakan air limbah industri yang sesungguhnya, hal ini diakibatkan kurangnya data atau informasi yang lengkap dari karakteristik air limbah industri nyata, serta studi yang tidak memadai tentang adsorpsi secara kontinu. Oleh karena itu fokus penelitian selanjutnya sebaiknya memperbanyak penelitian pada area ini. Secara keseluruhan, biosorben berbasis pektin memiliki kapasitas yang baik untuk adsorpsi logam berat beracun. Namun, untuk membuat penggunaan menjadi aktual di lapangan dari berbagai jenis pektin, kelemahan - kelemahan pektin seperti kurangnya stabilitas dan kekuatan mekanik, serta kesulitan dalam memisahkan perlu diatasi. Pengembangan

turunan modifikasi kimia baru, dan hubungan antara struktur kimia dan pengikatan logam berat juga kinerja adsorben berbasis pektin perlu ditingkatkan dan dipelajari lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrianto, R. (2014). *Pectin Production from Orange Peel (Citrus Sinensis) with Ultrasonic Waves Extraction Method Using Sulfatic Acid (H₂SO₄)*. Universitas Sumatera Utara.
- Akin-Ajani, O. D., & Okunlola, A. (2021). *Pharmaceutical Applications of Pectin* (M. A. Masuelli (ed.); From the E). <https://doi.org/10.5772/intechopen.100152>
- Altaf, Uzma, Immanuel, Genitha, Iftikhar, & Farheena. (2018). *Extraction and characterization of pectin derived from papaya (carica papaya linn .) Peel extraction and characterization of pectin derived from papaya*. 3(October), 1–6. <https://doi.org/10.2348/ijset07150970>
- Andersen, N. M., Cognet, T., Santacoloma, P. A., Larsen, J., Armagan, I., Larsen, F. H., Gernaey, K. V., Abildskov, J., & Huusom, J. K. (2017). Dynamic modelling of pectin extraction describing yield and functional characteristics. *Journal of Food Engineering*, 192, 61–71. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.08.006>
- Assifaoui, A., Lerbret, A., Uyen, H. T. D., Neiers, F., Chambin, O., Loupiac, C., & Cousin, F. (2015). Structural behaviour differences in low methoxy pectin solutions in the presence of divalent cations (Ca²⁺ and Zn²⁺): a process driven by the binding mechanism of the cation with the galacturonate unit. *Soft Matter*, 11(3), 551–560. <https://doi.org/10.1039/C4SM01839G>
- Belkheiri, A., Forouhar, A., Ursu, A. V., Dubessay, P., Pierre, G., Delattre, C., Djelveh, G., Abdelkafi, S., Hamdami, N., & Michaud, P. (2021). Extraction, Characterization, and Applications of Pectins from Plant By-Products. *Applied*

- Sciences*, 11(14), 6596.
<https://doi.org/10.3390/app11146596>
- Besson, V., Yapo, B. M., Beugre, G. A. M., Koffi, K., & Gnakri, D. (2014). Macromolecular and Viscoelastic Properties of Low Methoxy Pectin from Cashew Apple Pomace. *Universal Journal of Food and Nutrition Science*, 2(1), 1–6. <https://doi.org/10.13189/ujfns.2014.020101>
- Celus, M., Kyomugasho, C., Kermani, Z. J., Roggen, K., Van Loey, A. M., Grauwet, T., & Hendrickx, M. E. (2017). Fe²⁺ adsorption on citrus pectin is influenced by the degree and pattern of methylesterification. *Food Hydrocolloids*, 73, 101–109. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.06.021>
- Celus, M., Lombardo, S., Kyomugasho, C., Thielemans, W., & Hendrickx, M. E. (2018). Isothermal titration calorimetry to study the influence of citrus pectin degree and pattern of methylesterification on Zn²⁺ interaction. *Carbohydrate Polymers*, 197, 460–468. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.05.079>
- Chen, H. M., Fu, X., & Luo, Z. G. (2015). Properties and extraction of pectin-enriched materials from sugar beet pulp by ultrasonic-assisted treatment combined with subcritical water. *Food Chemistry*, 168, 302–310. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.078>
- Chen, H. ming, Fu, X., & Luo, Z. gang. (2016). Effect of molecular structure on emulsifying properties of sugar beet pulp pectin. *Food Hydrocolloids*, 54, 99–106. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.09.021>
- Daraei Garmakhany, A., Mirzaei, H. O., Maghsudlo, Y., Kashaninejad, M., & Jafari, S. M. (2014). Production of

- low fat french-fries with single and multi-layer hydrocolloid coatings. *Journal of Food Science and Technology*, 51(7), 1334–1341.
<https://doi.org/10.1007/s13197-012-0660-9>
- Dranca, F., & Oroian, M. (2018). Extraction, purification and characterization of pectin from alternative sources with potential technological applications. *Food Research International*, 113, 327–350.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.065>
- Fishman, M. L., Chau, H. K., Hoagland, P. D., & Hotchkiss, A. T. (2006). Microwave-assisted extraction of lime pectin. *Food Hydrocolloids*, 20(8), 1170–1177.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.01.002>
- Freitas, C. M. P., Sousa, R. C. S., Dias, M. M. S., & Coimbra, J. S. R. (2020). Extraction of Pectin from Passion Fruit Peel. *Food Engineering Reviews*, 12(4), 460–472.
<https://doi.org/10.1007/s12393-020-09254-9>
- IPPA. (2002). *Where comes from. What Is Pectin?*
<https://ippa.info/what-is-pectin/where-pectin-comes-from/>
- Jiang, L., Shang, J., He, L., & Dan, J. (2012). Comparisons of microwave-assisted and conventional heating extraction of pectin from seed watermelon peel. *Advanced Materials Research*, 550–553, 1801–1806.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.550-553.1801>
- Kamal, M. M., Ali, M. R., Hossain, A., & Shishir, M. R. I. (2020). Optimization of microwave-assisted extraction of pectin from *Dillenia indica* fruit and its preliminary characterization. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(6), 1–11.
<https://doi.org/10.1111/jfpp.14466>

- Kazemi, M., Khodaiyan, F., Hosseini, S. S., & Najari, Z. (2019). An integrated valorization of industrial waste of eggplant: Simultaneous recovery of pectin, phenolics and sequential production of pullulan. *Waste Management*, *100*, 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.09.013>
- Kulkarni, S. G., & Vijayanand, P. (2010). Effect of extraction conditions on the quality characteristics of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* L.). *LWT - Food Science and Technology*, *43*(7), 1026–1031. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.11.006>
- Kurniasari, L., Riwayat, I., & Suwardiyono, S. (2012). Pektin sebagai alternatif bahan baku biosorben logam berat. *Jurnal Momentum UNWAHAS*, *8*(1), 114668.
- Lara-Espinoza, C., Carvajal-Millán, E., Balandrán-Quintana, R., López-Franco, Y., & Rascón-Chu, A. (2018). Pectin and pectin-based composite materials: Beyond food texture. *Molecules*, *23*(4). <https://doi.org/10.3390/molecules23040942>
- Mao, G., Wu, D., Wei, C., Tao, W., Ye, X., Linhardt, R. J., Orfila, C., & Chen, S. (2019). Reconsidering conventional and innovative methods for pectin extraction from fruit and vegetable waste: Targeting rhamnogalacturonan I. *Trends in Food Science and Technology*, *94*, 65–78. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.001>
- Maran, J. P., & Prakash, K. A. (2015). Process variables influence on microwave assisted extraction of pectin from waste *Carcia papaya* L. peel. *International Journal of Biological Macromolecules*, *73*, 202–206. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.11.008>
- Marić, M., Grassino, A. N., Zhu, Z., Barba, F. J., Brnčić, M., & Rimac Brnčić, S. (2018). An overview of the traditional and innovative approaches for pectin extraction from plant

- food wastes and by-products: Ultrasound-, microwaves-, and enzyme-assisted extraction. *Trends in Food Science and Technology*, 76, 28–37.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.022>
- Mellinas, C., Ramos, M., Jiménez, A., & Garrigós, M. C. (2020). Recent trends in the use of pectin from agro-waste residues as a natural-based biopolymer for food packaging applications. *Materials*, 13(3).
<https://doi.org/10.3390/ma13030673>
- Mohamed, S. (1995). Extraction and characterisation of pectin from various tropical agrowastes. *ASEAN Food Journal*, 10(3), 43–51.
- Moorthy, I. G., Maran, J. P., Ilakya, S., Anitha, S. L., Sabarima, S. P., & Priya, B. (2017). Ultrasound assisted extraction of pectin from waste *Artocarpus heterophyllus* fruit peel. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 525–530.
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.015>
- Moslemi, M. (2021). Reviewing the recent advances in application of pectin for technical and health promotion purposes: From laboratory to market. *Carbohydrate Polymers*, 254, 117324.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117324>
- Nguyen, B. M. N., & Pirak, T. (2019). Physicochemical properties and antioxidant activities of white dragon fruit peel pectin extracted with conventional and ultrasound-assisted extraction. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), 1633076.
<https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1633076>
- Noreen, A., Nazli, Z. i. H., Akram, J., Rasul, I., Mansha, A., Yaqoob, N., Iqbal, R., Tabasum, S., Zuber, M., & Zia, K. M. (2017). Pectins functionalized biomaterials; a new viable approach for biomedical applications: A review.

- International Journal of Biological Macromolecules*, 101, 254–272. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.029>
- Oliveira, T. Í. S., Rosa, M. F., Cavalcante, F. L., Pereira, P. H. F., Moates, G. K., Wellner, N., Mazzetto, S. E., Waldron, K. W., & Azeredo, H. M. C. (2016). Optimization of pectin extraction from banana peels with citric acid by using response surface methodology. *Food Chemistry*, 198, 113–118. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.080>
- Owens, H. S. (1952). *Methods used at Western Regional Research Laboratory for extraction and analysis of pectic materials*. Bureau of Agricultural and Industrial Chemistry, Agricultural Research Administration, U.S. Dept. of Agriculture.
- Peng, Q., Xu, Q., Yin, H., Huang, L., & Du, Y. (2014). Characterization of an immunologically active pectin from the fruits of *Lycium ruthenicum*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 64, 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.11.030>
- Plazinski, W. (2013). Binding of heavy metals by algal biosorbents. Theoretical models of kinetics, equilibria and thermodynamics. *Advances in Colloid and Interface Science*, 197–198, 58–67. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cis.2013.04.002>
- Poojary, M. M., Orlie, V., Passamonti, P., & Olsen, K. (2017). Enzyme-assisted extraction enhancing the umami taste amino acids recovery from several cultivated mushrooms. *Food Chemistry*, 234, 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.157>
- Prasetyowati, Sari, K. P., & Pesantri, H. (2009). Ekstraksi Pektin Dari Kulit Mangga. *Jurnal Teknik Kimia*, 16(4), 42–49.
- Rasheed, A. M. (2008). Effect of Different Acids, Heating Time

- and Particle Size on Pectin Extraction from Watermelon Rinds. *Journal of Kerbala University*, 6(4), 234–243.
- Ristianingsih, Y., Nata, I. F., Anshori, D. S., & Putra, I. P. A. (2014). Pengaruh konsentrasi HCl dan pH pada ekstraksi pektin dari albedo durian dan aplikasinya pada proses pengentalan karet. *3(1)*, 1–5. <https://doi.org/10.20527/k.v3i1.135>
- Robledo, V. R., Isabel, L., & Vázquez, C. (2019). Pectin - Extraction, Purification, Characterization and Applications. *Intechopen*, 1–19. <https://doi.org/10.5772/intechopen.8558>
- Roikah, S., Rengga, W. D. P., Latifah, L., & Kusumastuti, E. (2016). Ekstraksi dan karakterisasi pektin dari belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi*,L). *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 5(1), 29–36. <https://doi.org/10.15294/jbat.v5i1.5432>
- Routray, W., & Orsat, V. (2012). Microwave-Assisted Extraction of Flavonoids: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 5(2), 409–424. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0573-z>
- Tiwari, A., Tiwari, R., & Bajpai, A. K. (2009). Dynamic and Equilibrium Studies on Adsorption of Cu(II) Ions onto Biopolymeric Cross-Linked Pectin and Alginate Beads. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 30(8), 1208–1215. <https://doi.org/10.1080/01932690802701838>
- Usmiati, S., Mangunwidjaja, D., Noor, E., Richana, N., & Prangdimurti, E. (2018). Produksi pektin bermetoksil rendah dari kulit jeruk nipis (*citrus aurantifolia* swingle) secara spontan menggunakan pelarut amonium oksalat dan asam. *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian*, 13(3), 125. <https://doi.org/10.21082/jpasca.v13n3.2016.125-135>
- Wang, M., Huang, B., Fan, C., Zhao, K., Hu, H., Xu, X., Pan,

- S., & Liu, F. (2016). Characterization and functional properties of mango peel pectin extracted by ultrasound assisted citric acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 91, 794–803. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.06.011>
- Wang, R., Liang, R., Dai, T., Chen, J., Shuai, X., & Liu, C. (2019). Pectin-based adsorbents for heavy metal ions: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 91(May 2018), 319–329. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.033>
- Wang, X., Chen, Q., & Lü, X. (2014). Pectin extracted from apple pomace and citrus peel by subcritical water. *Food Hydrocolloids*, 38, 129–137. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.12.003>
- Yang, J. S., Mu, T. H., & Ma, M. M. (2018). Extraction, structure, and emulsifying properties of pectin from potato pulp. *Food Chemistry*, 244(October), 197–205. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.059>

PEKTIN

BIOSORBEN

Yuli Ristianingsih, S.T., M.Eng.

Indriana Lestari, S.T., M.T.

Wibiana Wulanandari, S.T., M.Eng.

Selama beberapa dekade terakhir, industrialisasi yang berkembang pesat menyebabkan pelepasan logam berat yang terus meningkat ke lingkungan. Melalui rantai makanan, logam berat dapat terakumulasi dalam tubuh, menyebabkan kerusakan serius. Penghilangan dan daur ulang logam berat sangat penting untuk perlindungan lingkungan, masalah kesehatan serta penggunaan kembali sumber daya. Bahan pektin tersedia dari berbagai sumber alami dan dapat digunakan sebagai biosorben untuk berbagai logam berat yang beracun dan berbahaya.

Buku ini memberikan informasi secara keseluruhan mengenai pektin yang meliputi sumber bahan baku pektin, cara mengekstraksi pektin dari bahan baku, komposisi kimia pektin, analisis parameter pektin, kegunaan pektin dalam berbagai bidang pada umumnya dan biosorben logam berat pada khususnya.

Penerbit

LPPM UPN Veteran Yogyakarta

ISBN 978-623-5539-20-1

