

KARAKTERISASI SIFAT FISIKOKIMIA PEKTIN KENTANG (*Solanum tuberosum* L.) KULTIVAR GRANOLA DAN KULTIVAR ATLANTIK

SKRIPSI

Oleh

FITRA INNA ISTIFARA



**PROGRAM STUDI S-1 TEKNOLOGI PANGAN
FAKULTAS PETERNAKAN DAN PERTANIAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2025**

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kentang (*Solanum tuberosum* L.) merupakan salah satu bahan pangan sumber karbohidrat yang populer di Indonesia. Produksi kentang di Indonesia pada tahun 2024 mencapai 1.267.017 ton yang mengalami peningkatan sekitar 18.000 ton dari tahun 2023 (BPS, 2024). Sebagai sumber karbohidrat yang kaya akan vitamin dan mineral, kentang memiliki potensi besar dalam industri pangan. Kentang di Indonesia tergolong dalam jenis umbi-umbian dengan kandungan air yang tinggi, mencapai 75 %, serta menjadi pangan sumber vitamin dan mineral seperti vitamin B1, vitamin B3, vitamin B6, fosfor, magnesium, dan potasium (Arum *et al.*, 2022). Selain itu, kentang memiliki nilai ekonomi tinggi dengan produk olahan yang beragam, seperti kentang rebus, kentang goreng, dan keripik.

Kualitas kentang yang secara umum dipertimbangkan sebagai bahan baku pengolahan pangan ditentukan oleh atribut mutu seperti ukuran, bentuk, warna kulit, warna daging umbi kentang, tekstur, bau, dan rasa. Tekstur kentang sebelum maupun sesudah pengolahan menjadi atribut penting yang mempengaruhi mutu produk olahan kentang. Tekstur menjadi salah satu atribut mutu yang menggambarkan kesukaan panelis pada kentang rebus (Répás *et al.*, 2024). Tekstur sebagai mutu utama dalam pengolahan kentang mempengaruhi persepsi sensoris, penerimaan konsumen, serta keberhasilan proses pengolahan. Penurunan atribut sensoris, seperti penurunan tekstur renyah, menjadi penyebab menurunnya

penerimaan konsumen pada produk keripik kentang (Harahap *et al.*, 2017). Tekstur pada kentang sangat beragam dan sangat dipengaruhi oleh struktur seluler serta komponen kimia penyusun kentang.

Struktur seluler kentang meliputi dinding sel, membran plasma, sitoplasma, vakuola, dan amiloplas. Dinding sel kentang sebagai komponen utama yang membentuk struktur kentang terdiri dari komponen selulosa, hemiselulosa, pektin, dan lignin. Pektin yang terdapat pada dinding sel, mencapai 35 % dari jumlah komponen dinding sel secara keseluruhan, berfungsi untuk menjaga integritas dan rigiditas sel (Kaczmarska *et al.*, 2024). Pektin dapat mengalami degradasi selama proses pematangan dan pengolahan termal yang berdampak pada pelunakan jaringan. Proses hidrolisis enzimatis oleh enzim pektinase dan pektinesterase terjadi selama proses pematangan, sehingga dapat menyebabkan pektin lebih mudah larut (Haque *et al.*, 2025).

Kemampuan pektin untuk larut dan membentuk gel dapat menentukan tekstur kentang setelah proses pengolahan, seperti tekstur padat dan tekstur rapuh. Kelarutan dan kemampuan pektin dalam membentuk gel menjadi karakter penting dalam pektin yang sangat dipengaruhi oleh sifat fisikokimia dan struktur molekuler pektin (Begum *et al.*, 2021). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa modifikasi proses pengolahan keripik kentang Granola dengan proses *pre-heating* dan pemberian kalsium klorida meningkatkan tekstur (kerenyahan) keripik kentang Granola (Parhusip *et al.*, 2021). Untuk itu, pemahaman mengenai sifat fisikokimia pektin pada tiap varietas kentang dan pengaruhnya terhadap tekstur

olahan kentang menjadi sangat penting dalam upaya optimasi proses pengolahan kentang menjadi produk olahan kentang harian.

Kentang kultivar Granola dan kentang kultivar Atlantik menjadi dua kultivar kentang yang populer dan umum dibudidayakan serta umum dikonsumsi di Indonesia. Kentang kultivar Granola menjadi kultivar yang mendominasi kentang hasil budidaya lokal yang mencapai 80–90 % (Harahap *et al.*, 2017). Kentang kultivar Granola memiliki karakteristik berupa kandungan bahan kering (*dry matter content*) yang rendah, memiliki tekstur *waxy*, dan cocok untuk digunakan sebagai kentang sayur. Kentang sayur (*table consumption*) pada umumnya memiliki kadar gula reduksi yang tinggi dengan kadar bahan kering kurang dari 20 %, sehingga memiliki atribut tekstur kerenyahan yang rendah (Islam *et al.*, 2022). Berbeda dengan kentang kultivar Atlantik yang memiliki karakteristik berupa kandungan bahan kering yang tinggi, tergolong dalam kentang *mealy* atau *starchy*, serta cenderung cocok untuk digoreng dan dipanggang. Kandungan pati yang tinggi, seperti pada kentang kultivar Atlantik, menjadi salah satu atribut kualitas kentang sebagai bahan baku keripik kentang (Jo *et al.*, 2023).

Meskipun perbedaan tekstur antara kedua kultivar ini telah diketahui secara praktis, belum banyak kajian ilmiah yang secara spesifik mengaitkan karakteristik pektin masing-masing kultivar dan peran pektin dalam membentuk tekstur olahan kentang. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik sifat fisikokimia pektin daging umbi kentang kultivar Granola dan pektin kentang kultivar Atlantik. Hasil karakterisasi pektin daging umbi kentang dari masing-masing kultivar diharapkan dapat memberikan informasi terkait peran pektin dalam

membentuk tekstur kentang yang mendukung upaya proses modifikasi pengolahan kentang, khususnya kentang kultivar Granola, agar dapat menghasilkan tekstur produk yang sesuai dengan kebutuhan dan preferensi konsumen.

1.2. Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sifat fisikokimia pektin daging umbi kentang kultivar Granola dan kultivar Atlantik dengan sifat fisik yang meliputi kelarutan, reologi, viskositas, kadar bahan kering, dan warna, serta sifat kimia yang meliputi kadar abu dan nilai pH. Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini yaitu dapat memberikan informasi mengenai karakteristik fisikokimia pektin daging umbi kentang kultivar Granola dan kultivar Atlantik sehingga dapat digunakan sebagai acuan untuk modifikasi proses pengolahan kentang, khususnya kentang kultivar Granola, di kemudian hari.

BAB II

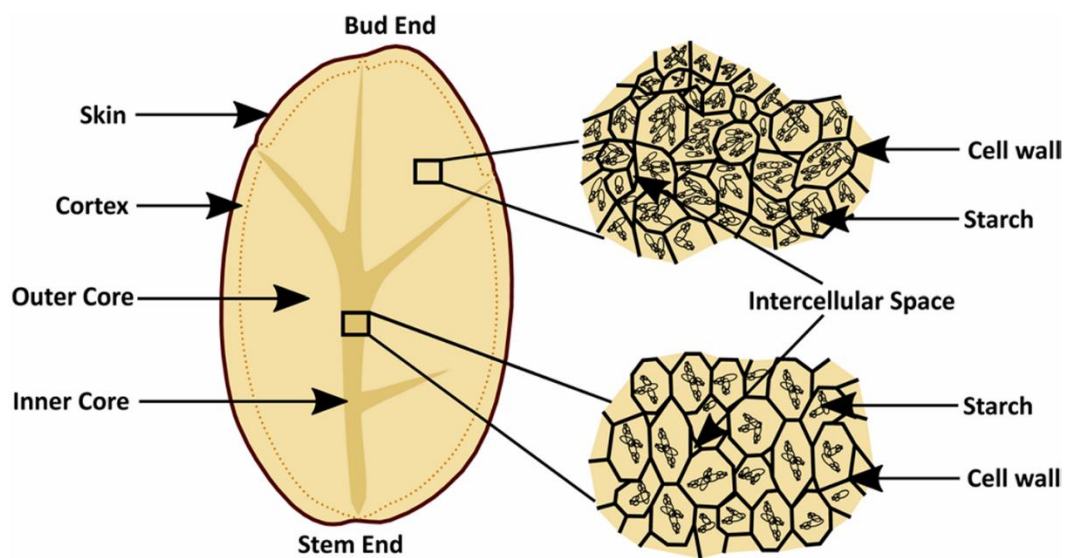
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kentang

Kentang (*Solanum tuberosum* L.) merupakan salah satu jenis umbi berpati yang berasal dari Benua Amerika. Hingga saat ini, kentang telah menjadi salah satu varian makanan pokok bagi masyarakat luas karena kandungan karbohidrat yang tinggi. Kandungan karbohidrat pada kentang, terutama berasal dari pati, dapat mencapai 75 % dari berat kering umbi kentang (Górska-Warsewicz *et al.*, 2021). Selain kandungan karbohidrat yang tinggi, kentang di Indonesia menjadi jenis sayur yang banyak dikonsumsi karena kandungan protein esensial, mineral seperti fosfor, potasium, dan magnesium, serta vitamin B1, B3, dan B6 (Arum *et al.*, 2022). Produksi kentang dunia pada tahun 2023 mencapai 383 juta ton kentang dengan negara produsen kentang terbesar yaitu Cina dan India. Produksi kentang di Indonesia mencapai 1,267 juta ton pada tahun 2024 yang mengalami peningkatan dari produksi pada tahun 2023 yang mencapai 1,248 juta ton (BPS, 2024).

Kentang secara umum berbentuk bulat dan oval atau lonjong. Warna kulit kentang bervariasi dari pucat kekuningan, kuning kecokelatan, merah, dan keunguan berdasarkan perbedaan varietas kentang. Perbedaan warna kulit dan daging umbi kentang diakibatkan oleh keberadaan senyawa fenol (*phenolic acid*) seperti *gallic acid*, *caffeic acid*, *chlorogenic acid*, dan *p-coumaric acid* dengan konsentrasi yang berbeda-beda antar varietas atau kultivar (Cebulak *et al.*, 2023). Umbi kentang pada umumnya memiliki “mata” atau *lateral bud (eye)*, seperti pada

Ilustrasi 2, yang merupakan bakal tunas dengan kedalaman yang berbeda-beda. Kedalaman “mata” sangat beragam berdasarkan varietas, seperti pada varietas *Asterix* yang memiliki kedalaman “mata” dangkal, sedangkan varietas *Courage* memiliki “mata” dalam (Islam *et al.*, 2022). Keberadaan dan kedalaman “mata” umbi kentang tersebut mempengaruhi kemudahan dalam mengupas kulit kentang.



Ilustrasi 1. Struktur Penampang Melintang Kentang (*Solanum tuberosum* L.)
Sumber: Biswas dan Barma, 2020

Karakteristik fisik kentang turut dipengaruhi oleh struktur seluler, seperti pada Ilustrasi 1, dan komponen kimiawi kentang. Struktur seluler kentang meliputi dinding sel, membran plasma, sitoplasma, vakuola, dan amiloplas. Dinding sel pada kentang tersusun atas selulosa, hemiselulosa, dan pektin yang memberikan tekstur keras dan kokoh pada umbi kentang. Pektin yang terdapat pada dinding sel, mencapai 35 % dari jumlah komponen dinding sel secara keseluruhan, serta berfungsi untuk menjaga integritas dan rigiditas sel (Kaczmarska *et al.*, 2024).

Amiloplas pada kentang berfungsi sebagai tempat penyimpanan cadangan energi berupa butiran pati. Secara umum, kentang memiliki komponen kimiawi mencakup karbohidrat, protein, lemak, serat, serta vitamin dan mineral. Kandungan karbohidrat pada kentang mencapai 75 % dari berat keringnya dan didominasi oleh kandungan pati yang tinggi pada kentang (Górska-Warsewicz *et al.*, 2021). Tingginya kandungan karbohidrat tersebut menjadikan kentang sebagai bahan pangan pokok setelah beras, gandum, dan jagung.

Karakteristik kentang memberikan pengaruh besar terhadap hasil olahan pangan berbasis kentang. Pemanfaatan kentang dalam pengolahan pangan dikelompokkan berdasarkan *waxiness* dari kentang menjadi *mealy* atau *starchy potato* dan *waxy potato*. Kentang *mealy* atau *starchy* disebut juga sebagai *baking potato* yang memiliki kandungan pati (*starch*) yang lebih tinggi dibandingkan dengan kentang *waxy* yaitu 20–22 %. Kentang yang biasa digunakan sebagai kentang sayur (*table consumption*) pada umumnya memiliki kadar gula reduksi tinggi dengan kadar bahan kering lebih rendah dari 20 %, sehingga memiliki atribut tekstur kerenyahan yang rendah (Islam *et al.*, 2022). Kentang *waxy* atau *waxy boiling potato* memiliki kandungan pati sekitar 16–18 %. Komponen pati kentang yang tersusun atas amilosa dan amilopektin menjadi penyebab perbedaan tekstur kedua jenis kentang tersebut. Tekstur keripik kentang secara nyata dipengaruhi oleh kadar amilosa dan kadar amilopektin pada kentang (Harahap *et al.*, 2017).

Rasio amilosa yang lebih tinggi menciptakan kentang *mealy* dengan tekstur yang lebih lembut dan berpati. Kentang jenis ini sangat cocok untuk diolah dengan cara dipanggang, digoreng, atau menjadi kentang tumbuk (*mashed potato*).

Kandungan pati yang tinggi menjadi salah satu atribut mutu utama pada kentang yang digunakan sebagai bahan baku keripik kentang (Jo *et al.*, 2023). Rasio kandungan amilopektin pada pati kentang yang lebih tinggi dibandingkan amilosa membentuk kentang *waxy*. Kentang jenis *waxy* lebih cocok diolah dengan metode kukus dan rebus karena dapat mempertahankan bentuknya setelah proses perebusan atau pengukusan. Kentang dengan kadar amilopektin yang tinggi memiliki kemampuan mengikat air yang tinggi, sehingga menimbulkan pembentukan pori-pori yang lebih banyak karena proses penguapan air atau evaporasi yang tinggi dan menyebabkan tekstur produk hasil penggorengan yang keras dan alot (Harahap *et al.*, 2017).

Hasil olahan kentang tidak hanya ditentukan dari jumlah pati (amilosa dan amilopektin) sebagai *dry matter* atau bahan kering pada kentang. Mutu hasil olahan kentang juga ditentukan oleh komponen pektin kentang. Kandungan polisakarida pada kentang seperti pati, pektin, selulosa, dan hemiselulosa menjadi faktor yang mempengaruhi kerenyahan keripik kentang akibat proses gelatinisasi selama penggorengan (Harahap *et al.*, 2017). Karakteristik pektin dalam setiap jenis kentang memiliki perbedaan yang mempengaruhi tekstur akhir olahan kentang. Perbedaan varietas kentang mempengaruhi perbedaan karakteristik dan kemampuan dinding sel dalam mempertahankan rigiditas, sehingga tidak mudah larut dan mempertahankan mutu tekstural yang dimiliki oleh kentang rebus (Répás *et al.*, 2024)

Kentang yang dibudidayakan di dunia memiliki berbagai varietas yang berbeda. Varietas kentang yang banyak dikenali dan dibudidayakan diantaranya

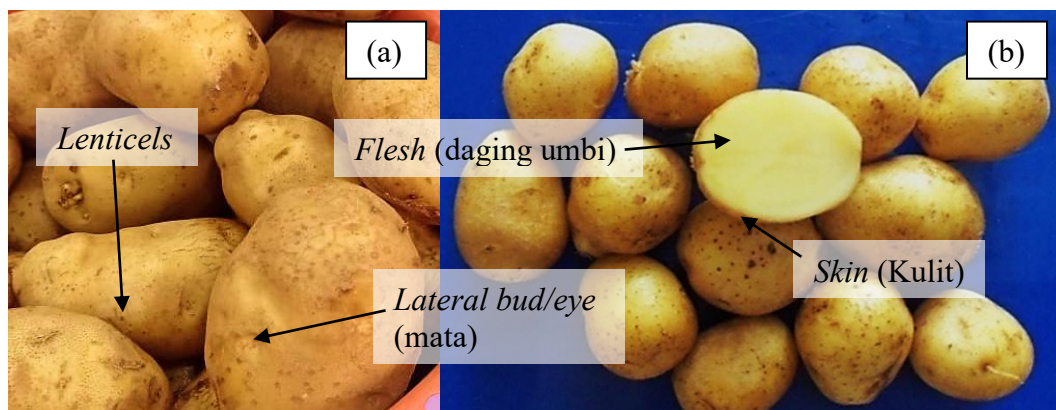
yaitu kultivar Granola, kultivar Atlantik, *Russet Burbank*, *Yukon Gold*, *Red Norland*, dan *Purple Majesty*. Kentang kultivar Granola dan kentang kultivar Atlantik menjadi dua varietas kentang yang umum dibudidayakan di Indonesia. Kentang Granola menjadi kultivar yang mendominasi kentang hasil budidaya petani lokal dengan luas lahan panen mencapai 80–90 % (Harahap *et al.*, 2017). Masing-masing varietas kentang tersebut memiliki karakteristik yang berbeda, baik dari karakteristik fisik maupun kimiawinya. Varietas kentang yang berbeda menunjukkan stabilitas struktur yang berbeda setelah proses perebusan, pengeringan, dan rehidrasi.

2.1.1. Kentang Kultivar Granola

Kentang kultivar Granola (*Solanum tuberosum* L. *cv.* *Granola*), selanjutnya disebut sebagai kentang Granola, menjadi salah satu varietas kentang yang umum dibudidayakan di Indonesia. Kentang varietas ini pertama kali dikembangkan di Jerman pada 1975 dan mulai populer di Indonesia pada 1980. Kentang Granola hingga saat ini menjadi varietas yang mendominasi 80–90 % lahan pertanian kentang dataran tinggi di Indonesia (Harahap *et al.*, 2017). Kentang Granola memiliki produktivitas dan daya simpan yang sangat baik dan sangat cocok untuk budidaya di dataran tinggi. Kentang Granola menunjukkan produktivitas tertinggi dibandingkan dengan kultivar lain seperti kentang merah, kentang batang hitam, dan *Bliss*, sehingga sangat cocok dibudidayakan di Indonesia (Satria *et al.*, 2020). Kentang Granola di Indonesia memiliki produktivitas yang sangat tinggi.

Produktivitas kentang Granola dapat mencapai angka 30–35 ton per hektar dengan masa simpan hingga 4 bulan (Parhusip *et al.*, 2021).

Kentang Granola memiliki karakteristik fisik berupa warna kulit kuning atau kuning kecokelatan, daging umbi berwarna kuning atau kuning muda, umbi berbentuk bulat hingga oval, berukuran sedang, dan memiliki tekstur kulit yang cenderung kasar seperti pada Ilustrasi 2. Kentang jenis ini memiliki kandungan *dry matter* atau bahan kering dan pati yang rendah. Kentang granola memiliki kandungan air yang tinggi, lebih dari 80 %, dan kandungan pati cukup rendah yang berkisar antara 16–18 % (Arum *et al.*, 2022). Selain itu, kentang Granola memiliki *specific gravity* atau densitas relatif yang cenderung rendah, menunjukkan kadar air umbi kentang yang tinggi. Densitas relatif atau *specific gravity* pada kentang menunjukkan perbandingan antara densitas umbi kentang dengan densitas air, yang menunjukkan estimasi kadar air dan kadar bahan kering pada umbi kentang.



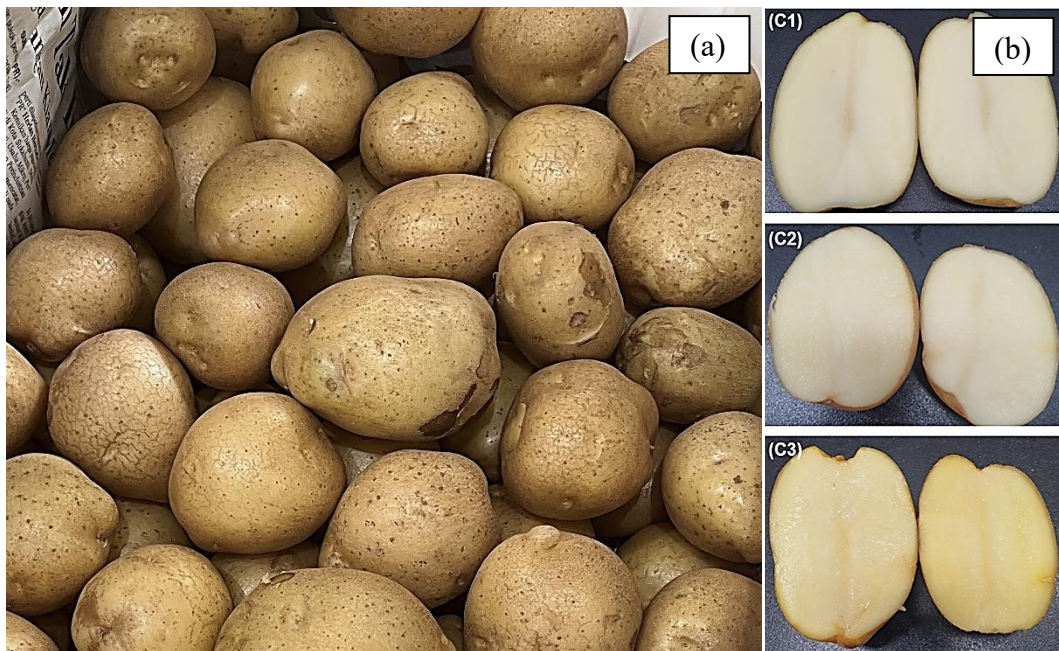
Ilustrasi 2. Kentang Kultivar Granola Utuh (a, b) dan Penampang Melintang Kentang Kultivar Granola (b)
Sumber: dokumentasi pribadi (a) dan Djuariah *et al.*, 2017 (b)

Karakteristik yang dimiliki kentang Granola menjadikannya tergolong sebagai kentang *waxy* atau kentang berpati rendah. Kentang Granola yang memiliki kandungan air yang tinggi menjadikan kentang Granola lebih sesuai untuk proses pengolahan dengan metode perebusan dan pengukusan. Hal tersebut menjadikan *yield* hasil olahan kentang Granola tetap tinggi, dengan kata lain tidak banyak air yang hilang selama proses pengolahan. Kandungan air kentang Granola yang mencapai 80 % atau lebih, serta karakteristik pori yang sempit, menyebabkan kentang Granola memiliki kadar air yang tinggi bahkan setelah proses pemasakan (Parhusip *et al.*, 2021). Kentang Granola sebagai kentang *waxy* kurang sesuai untuk pengolahan dengan metode penggorengan dan pemanggangan, seperti keripik kentang, karena teksturnya yang menjadi lembek setelah proses pengolahan. Selain itu, kandungan air yang tinggi menyebabkan proses evaporasi selama proses penggorengan tinggi, sehingga kentang Granola memiliki kecenderungan menyerap minyak yang tinggi dan terlihat berminyak (*greasy*) (Arum *et al.*, 2022).

2.1.2. Kentang Kultivar Atlantik

Kentang kultivar Atlantik (*Solanum tuberosum* L. *cv. Atlantic*), selanjutnya disebut kentang Atlantik, merupakan varietas kentang lain yang umum dibudidayakan di Indonesia. Kentang varietas ini dikembangkan oleh USDA *Agricultural Research Service* di Maryland, Amerika Serikat. Kentang Atlantik yang dirilis pertama kali pada 1976 ini memiliki produktivitas yang tinggi serta mudah beradaptasi di berbagai lingkungan. Meskipun demikian, kentang Atlantik memiliki produktivitas yang cukup rendah di Indonesia (Parhusip *et al.*, 2021).

Kentang varietas ini sangat sensitif terhadap kondisi penyimpanan setelah panen. Kentang Atlantik cenderung memiliki masa simpan yang singkat karena proses akumulasi gula reduksi seiring dengan lamanya masa simpan.



Ilustrasi 3. Kentang Kultivar Atlantik Utuh (a) dan Penampang Melintang Kentang Kultivar Atlantik yang Dipanen Setelah 80 Hari (C1), 90 Hari (C2), dan 100 Hari (C3) dari Proses Penanaman (b)
Sumber: dokumentasi pribadi (a) dan Sim *et al.*, 2023 (b)

Kentang Atlantik memiliki karakteristik fisik berupa bentuk umbi yang bulat dan cenderung seragam dengan diameter 2,5–4 inci atau 6–10 cm. Warna kulit umbi kentang Atlantik kekuningan dengan tekstur kulit yang halus atau sedikit kasar seperti pada Ilustrasi 3. Daging umbi kentang Atlantik berwarna kuning pucat atau krem. Kentang Atlantik dideskripsikan dengan bentuk bulat pempat, ukuran umbi medium, kulit kuning dengan warna umbi putih, serta “mata” yang tersebar rata dengan kedalaman medium (Islam *et al.*, 2022). Kentang Atlantik memiliki karakteristik kimiawi berupa kandungan pati yang tinggi dan *specific gravity* yang

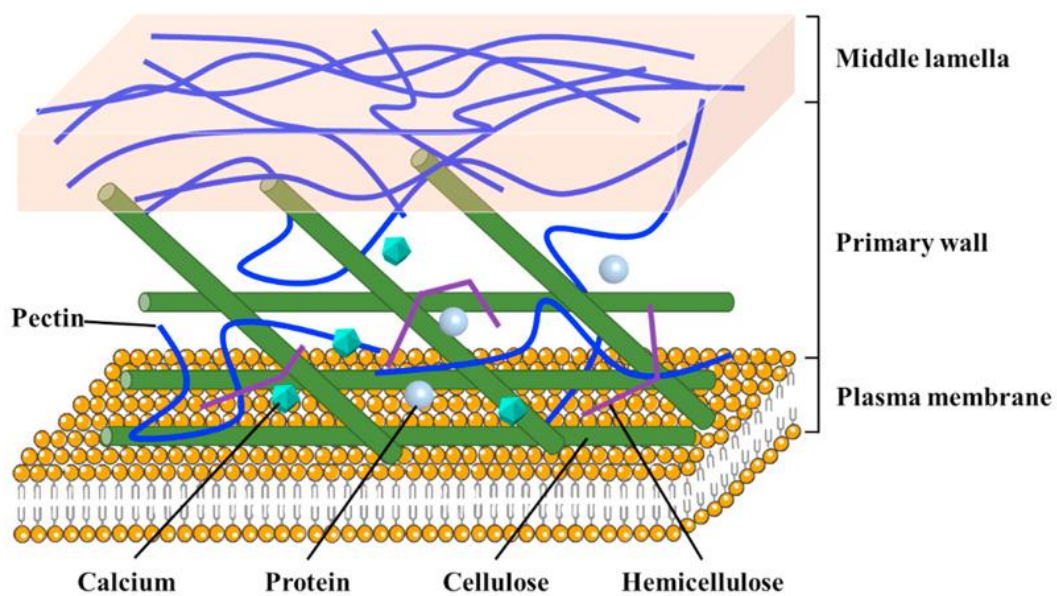
tinggi pula. Hal tersebut menunjukkan kadar air pada kentang Atlantik yang rendah dengan kadar bahan kering yang tinggi. Kadar bahan kering pada kentang menjadi parameter penting mutu keripik kentang dengan meningkatkan kerenyahan keripik kentang seiring dengan meningkatnya kadar bahan kering pada kentang (Jo *et al.*, 2023).

Kandungan pati yang tinggi pada kentang Atlantik menjadikannya dikategorikan sebagai kentang *mealy*. Kadar pati pada kentang segar, sangat beragam berdasarkan varietas, berkisar pada 8,5–29,4 % dengan kandungan yang lebih tinggi dan ukuran butiran pati yang lebih besar pada kentang *mealy* (Sjölin *et al.*, 2018). Kandungan bahan kering dan pati yang tinggi mempengaruhi tekstur kentang Atlantik yang kering serta memiliki kerenyahan yang baik setelah proses pengolahan. Oleh karena itu, kentang Atlantik sangat sesuai untuk proses pengolahan berbasis penggorengan dan pemanggangan. Kentang Atlantik sangat digemari dalam industri keripik dan kentang goreng. Kentang Atlantik menjadi bahan baku pembuatan keripik kentang yang baik karena kadar pati yang tinggi, kadar air dan gula yang rendah, serta warna daging yang putih (Parhusip *et al.*, 2021).

2.2. Pektin

Pektin merupakan salah satu komponen penyusun struktur seluler kentang yang menjadi bagian dari dinding sel kentang. Pektin secara umum merupakan polisakarida kompleks yang terdapat pada bagian dinding sel dari tumbuhan secara keseluruhan seperti pada Ilustrasi 4. Secara alami, pektin berada pada dinding sel,

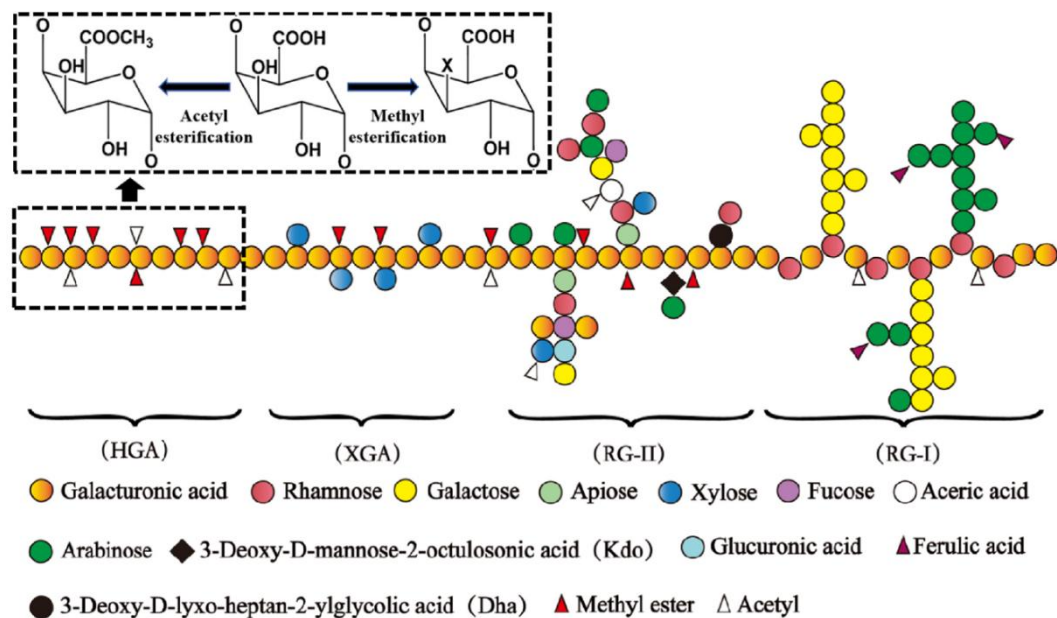
ruang intraseluler, dan *middle lamella* yang terhubung dengan ikatan glikosida dan mendukung struktur sel tumbuhan yang kokoh (Hamidon *et al.*, 2020). Pektin pada tumbuhan berperan dalam mengikat sel-sel tumbuhan dan mempertahankan kekakuan atau rigiditas (*rigidity*) struktur jaringan tumbuhan. Pektin sebagai polisakarida menjadi elemen kunci yang membentuk dinding sel tumbuhan, serta mempertahankan struktur yang kokoh (Dranca dan Oroian, 2018).



Ilustrasi 4. Keberadaan Pektin pada Struktur Dinding Sel Tanaman
Sumber: Cui *et al.*, 2021

Pektin secara struktural terbentuk dari unit-unit asam galakturonat (*D-galacturonic acid*) pada ikatan α -1,4 *D-Galacturonic acid*. Sebagai kompleks polisakarida, struktur pektin (*pectin backbone*) tersusun atas *homogalacturonan* (HG), *rhamnogalacturonan I* (RG-I), dan *rhamnogalacturonan II* (RG-II) seperti pada Ilustrasi 5 (Cui *et al.*, 2021). Asam galakturonat sendiri merupakan asam gula yang dihasilkan dari proses oksidasi dari jenis monosakarida *D-galactose* atau

D-galaktosa. Selain asam galakturonat, pektin tersusun oleh gugus metil ester serta rantai samping berupa gugus gula seperti *rhamnose* dan *arabinose*. Struktur pektin sebagai polisakarida terdiri dari *homogalacturonan* dan *rhamnogalacturonan*, serta rantai samping berupa gula alami seperti L-*arabinose*, D-*galactose*, dan D-*xylose* (Begum *et al.*, 2021).



Ilustrasi 5. Struktur Pektin yang Terdiri dari *Homogalacturonan Acid* (HGA), *Xylan Galacturonic Acid* (XGA), dan *Rhamnogalacturonan* (RG)
Sumber: Huang *et al.*, 2025

Pektin merupakan senyawa yang larut dalam air dan membentuk gel pada kondisi tertentu. Pektin digunakan dalam proses pengolahan pangan dan industri pangan secara luas sebagai pembentuk gel (*gelling agent*), *stabilizer*, dan pengental (*thickener*) (Dranca dan Oroian, 2018). Interaksi antar molekul pektin dapat membentuk ikatan seperti jaring yang memerangkap cairan di dalamnya ketika bertemu dengan gula, asam, atau ion dalam air. Interaksi dan ikatan yang terbentuk

menyebabkan pektin mampu untuk membentuk gel, serta efektif sebagai pengental dan penstabil dalam proses pengolahan pangan. Kemampuan pektin untuk membentuk gel menjadikan pektin dimanfaatkan dalam industri pangan sebagai pengental, *stabilizer*, *emulsifier*, serta *fat replacer* (Hamidon *et al.*, 2020).

Pektin secara umum dimanfaatkan sebagai *gelling agent*, *stabilizer*, dan pengental dalam bentuk hasil ekstraksi dari berbagai sumber, seperti apel dan jeruk. Hingga saat ini, apel dan jeruk menjadi sumber pektin komersial paling tinggi yang digunakan sebagai *gelling agent* pada produk berbasis buah, serta sebagai pengental, *stabilizer*, dan *emulsifying agent* (Dranca dan Oroian, 2018). Sifat fisik dan kimiawi dari pektin menjadi aspek yang perlu diketahui lebih dalam untuk mendukung pengaplikasian proses pengolahan yang tepat.

2.2.1. Sifat Kimia Pektin

Sifat kimia atau *chemical properties* secara umum merupakan karakteristik dari suatu substansi yang menjelaskan potensi suatu substansi untuk mengalami perubahan atau reaksi kimia berdasarkan komposisinya. Oleh karena itu, sifat kimia dari suatu substansi hanya dapat diamati ketika terjadi reaksi kimiawi yang terkait dengan kemampuan suatu substansi berubah menjadi substansi lain. Sebagai contoh, sifat kimia dari suatu substansi dapat diamati berdasarkan reaktivitas, keasaman atau pH, kemampuan teroksidasi, kestabilan kimia, dekomposisi, dan kelarutan kimia.

Pektin merupakan polisakarida kompleks yang tersusun dari asam D-galakturonat sekitar 65 % sebagai gugus utama, gugus metil ester ($-\text{COOCH}_3$), dan gugus gula netral seperti *rhamnose*, *arabinose*, dan galaktosa. Sifat dan struktur kimiawi pektin sangat dipengaruhi oleh asal pektin dan metode ekstraksi yang digunakan (Frosi *et al.*, 2023). Sifat kimiawi pektin secara umum mencakup sifat asam, kemampuan esterifikasi, reaktivitas terhadap ion, stabilitas terhadap pH dan suhu, serta kemampuan interaksi dengan gula dan air. Sifat asam pada pektin dipengaruhi oleh gugus utama pektin yang merupakan gugus karboksil asam karboksilat ($-\text{COOH}$) dari asam galakturonat. Jumlah gugus karboksil dan ikatan ganda atom C ($\text{C} = \text{C}$ *double bonds*) menjadi salah satu indikator keberadaan polisakarida pektin yang sangat dipengaruhi oleh konsentrasi dalam larutan (Abouzeid *et al.*, 2025). Pektin bersifat *anionic* ketika gugus karboksil pada asam galakturonat terionisasi ($-\text{COO}^-$).

Proses netralisasi pektin dengan memanfaatkan basa dapat digunakan untuk menentukan berat ekuivalen dari pektin. Selain itu, sifat asam yang dimiliki pektin turut memengaruhi solubilitas atau kelarutan dan kemampuan pektin dalam membentuk gel (*gelling ability*). Sifat pektin yang selanjutnya yaitu dapat mengalami esterifikasi. Proses esterifikasi merupakan proses reaksi kimia antara asam karboksilat dengan alkohol, sehingga menghasilkan ester dan air. Pektin mengalami esterifikasi ketika terjadi perubahan dari sebagian gugus karboksil ($-\text{COOH}$) menjadi gugus metil ($-\text{COOCH}_3$). Semakin banyak gugus metil yang dimiliki oleh pektin dapat meningkatkan sifat hidrofobik pada pektin. Proses

esterifikasi pada pektin menentukan parameter derajat metoksilasi (DM) dan derajat esterifikasi (DE) pektin.

Reaktivitas pektin terhadap ion diakibatkan oleh keberadaan gugus COO^- yang dapat berinteraksi dengan ion logam, terutama ion kalsium (Ca^{2+}), dan membentuk struktur “egg-box”. Struktur model “egg-box” merupakan struktur yang terbentuk akibat terbentuknya ikatan dan zona persimpangan antara ion kalsium dengan asam galakturonat *non-esterified* (Kaczmarska *et al.*, 2024). Sifat ini dipengaruhi oleh jumlah gugus ester pada pektin dan kadar metoksil atau derajat metoksilasi pektin. Selanjutnya, sifat pektin yang terkait dengan stabilitas terhadap pH dan suhu dapat mempengaruhi proses degradasi atau hidrolisis pada rantai pektin. Pektin cenderung stabil pada kondisi asam pada pH 3–4,5. Selain itu, pektin memiliki kemampuan untuk berikatan dengan air (*water-binding capacity*) yang tinggi. Berikut ini merupakan pembahasan mengenai parameter kimiawi pektin yang mencakup berat ekuivalen (BE), derajat metoksilasi (DM), derajat esterifikasi (DE), kadar abu, dan keasaman atau pH.

2.2.1.1. Berat Ekuivalen (BE). Berat ekuivalen atau *equivalent weight*, yang selanjutnya disebut BE, merupakan jumlah massa pektin dalam miligram (mg) yang mengandung satu mol gugus asam galakturonat bebas (COOH). Berat ekuivalen merupakan rantai molekul pektin yang mengandung asam galakturonat bebas, serta berfungsi sebagai indikator kualitas pektin hasil ekstraksi (Haque *et al.*, 2025). Jumlah tersebut merupakan gugus karboksil yang tidak mengalami esterifikasi dengan gugus metil dalam molekul pektin. Berat ekuivalen dari pektin menjadi karakteristik utama yang digunakan untuk mengetahui kualitas dari pektin. Nilai

BE menunjukkan banyak gugus asam yang terdapat pada struktur pektin. Semakin rendah BE pektin semakin banyak gugus asam bebas, sehingga pektin cenderung lebih asam dan lebih reaktif. Peningkatan kepekatan asam sebagai solven yang digunakan dalam proses ekstraksi menunjukkan penurunan asam bebas dalam larutan dan menyebabkan peningkatan BE pektin yang dihasilkan (Husnawati *et al.*, 2019).

Nilai BE pada pektin sangat menentukan jenis pektin (LMP atau HMP) dan sifat gelasi dari pektin. Semakin tinggi BE yang terhitung mengindikasikan kemampuan gelasi yang lebih baik (Biratu *et al.*, 2024). Konsep pengukuran atau kuantifikasi dari BE pektin dapat dilakukan menggunakan metode titrasi basa, seperti menggunakan natrium hidroksida (NaOH), terhadap gugus asam bebas dalam larutan pektin. Penentuan BE pektin dapat dilakukan menggunakan metode titrasi dengan mencampur 100 ml larutan pektin 5 % dengan 5 ml etanol dan 1 g NaCl, titrasi larutan dilakukan dengan 0,1 M NaOH (Haque *et al.*, 2025).

2.2.1.2. Derajat Metoksilasi (DM). Derajat metoksilasi atau degree of methoxylation (DM) merupakan persentase atau proporsi dari gugus asam galakturonat yang mengalami esterifikasi dengan gugus metil ($-\text{COOCH}_3$). Jumlah mol metanol dalam 100 mol asam galakturonat dinyatakan sebagai derajat metoksilasi pektin (Husnawati *et al.*, 2019). Nilai DM menjadi parameter penting untuk menentukan jenis pektin termasuk sebagai High Methoxyl Pectin (HMP) atau Low Methoxyl Pectin (LMP). Pektin digolongkan sebagai HMP ketika memiliki DM lebih dari 50 %, sedangkan pektin LMP merupakan pektin dengan DM sama

dengan atau kurang dari 50 %. Pektin dikategorikan sebagai HMP ketika pektin hasil ekstraksi memiliki DM lebih dari 50 % dan kadar asam galakturonat yang tinggi sekitar 800 g.kg⁻¹ (Frosi *et al.*, 2023). Nilai DM dapat dihitung dengan membagi jumlah gugus metil dengan jumlah total gugus asam galakturonat menggunakan persamaan (1) berikut ini.

$$DM = \frac{\text{Jumlah gugus metil}}{\text{Jumlah total gugus asam galakturonat}} \times 100\% \quad (1)$$

Nilai DM sangat mempengaruhi kemampuan dan mekanisme pektin dalam membentuk gel. Pektin dengan DM tinggi atau HMP dapat mengalami gelasi pada pH rendah dan konsentrasi gula yang tinggi. Pektin jenis HMP membentuk struktur gel melalui ikatan hidrogen dan interaksi hidrofobik yang dipengaruhi oleh *water activity* dan pH yang rendah (Dranca dan Oroian, 2018). Berbeda dengan pektin dengan DM rendah atau LMP yang mengalami gelasi dengan bantuan ion kalsium (Ca²⁺). Pektin jenis LMP menjadi preferensi sebagai bahan untuk enkapsulasi karena kemampuannya dalam membentuk ikatan silang yang kokoh dengan *divalent cations* seperti Ca²⁺ dan Zn²⁺ (Frosi *et al.*, 2023). Selain itu, nilai DM dari pektin mempengaruhi sensitivitas pektin terhadap pH dan menentukan proses pengaplikasian pektin pada produk pangan.

2.2.1.3. Derajat Esterifikasi (DE) Derajat esterifikasi atau *degree of esterification*, yang selanjutnya disebut DE, merupakan salah satu parameter dalam sifat kimiawi yang dimiliki oleh pektin. Derajat esterifikasi (DE) merupakan persentase gugus asam galakturonat (–COOH) dalam molekul pektin yang

mengalami proses esterifikasi. Jumlah residu proses esterifikasi dari gugus karboksil asam galakturonat oleh etanol dinyatakan sebagai persentase DE (Husnawati *et al.*, 2019). Esterifikasi sendiri merupakan suatu proses reaksi antara asam karboksilat ($-\text{COOH}$) dan alkohol ($-\text{OH}$) yang menghasilkan ester ($\text{R}-\text{COO}-\text{R}'$) dan air ($-\text{H}_2\text{O}$) sebagai hasil samping reaksi, dengan R merupakan rantai karbon asam karboksilat dan R' merupakan rantai karbon dari alkohol.

Berbeda dengan DM yang merepresentasikan jumlah ester metil ($-\text{COOCH}_3$), DE berfungsi untuk merepresentasikan jumlah ester secara keseluruhan mencakup ester metil serta ester lainnya seperti ester etil ($-\text{COOC}_2\text{H}_5$), ester propil, dan ester butil. Pektin secara alami memiliki nilai DE dan DM yang hampir sama ketika semua ester yang terbentuk merupakan ester metil. Kondisi basa selama proses ekstraksi dapat mengurangi derajat metoksilasi, derajat asetilasi, dan panjang rantai utama asam galakturonat (Otu *et al.*, 2024). Derajat Esterifikasi (DE) dari pektin memiliki pengaruh yang sama dengan DM sebagai atribut atau parameter yang menentukan jenis pektin sebagai LMP atau HMP. Pektin jenis HMP yang memiliki $\text{DE} > 50\%$ dapat membentuk gel dengan baik dan kuat pada pH rendah atau kondisi asam (Biratu *et al.*, 2024). Sedangkan pektin jenis LMP yang memiliki $\text{DE} \leq 50\%$ bergantung pada konsentrasi ion kalsium (Ca^{2+}) dalam larutan untuk membentuk gel atau mendukung proses gelasi. Tingginya kadar karboksilat bebas pada LMP turut mempengaruhi kekuatan gel dan kemampuan gelasi yang meningkat pada seiring peningkatan pH dari 3,5–8,5 (Dranca dan Oroian, 2018).

Pektin yang memiliki DE rendah memiliki gugus karboksil ($-\text{COOH}$) bebas lebih banyak dibandingkan dengan pektin yang memiliki DE tinggi. Pektin dengan DE tinggi memiliki gugus ester ($-\text{COOR}$) yang lebih tinggi dengan sifat yang lebih netral dibandingkan dengan pektin DE rendah yang bersifat lebih asam. Berperan sebagai atribut yang dapat dimodifikasi dengan mudah, DE pektin mempengaruhi panjang struktur, distribusi gugus karboksil, dan karakteristik interaksi pektin dengan protein yang selanjutnya mempengaruhi tekstur dan struktur mikro dari gel campuran pektin dan protein (Gao *et al.*, 2025). Pengukuran DE dapat dilakukan menggunakan metode titrasi dua tahap ataupun dengan metode *spectroscopy* menggunakan spektrofotometer, seperti *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dan *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR), untuk proses analisis struktur yang lebih baik. Proses pengukuran DE pada umumnya dilakukan dengan metode berbasis hidrolisis alkali untuk melepaskan gugus metoksil dari gugus asam galakturonat dengan larutan NaOH (Dranca dan Oroian, 2018).

Secara umum, DE dapat diperoleh dengan membandingkan gugus ester dengan gugus asam secara keseluruhan. Jumlah gugus asam karboksilat teresterifikasi pada pektin dibandingkan dengan jumlah total gugus asam karboksilat pada pektin menunjukkan DE pektin (Haque *et al.*, 2025). Melalui metode titrasi, nilai DE dari pektin dapat diukur dengan tahapan mencakup titrasi asam bebas, kemudian hidrolisis ester dengan basa, dan titrasi akhir untuk menghitung jumlah ester. Nilai DE pada pektin dapat dikuantifikasi dengan membandingkan jumlah gugus yang mengalami esterifikasi dengan jumlah total gugus asam galakturonat menggunakan persamaan (2) berikut ini.

$$DE = \frac{\text{Jumlah gugus teresterifikasi}}{\text{Jumlah total gugus asam galakturonat}} \times 100\% \quad (2)$$

2.2.1.4. Kadar Abu. Kadar abu atau *ash content* merupakan salah satu parameter sifat kimiawi yang penting untuk diketahui dari suatu substansi. Kadar abu menggambarkan kadar residu dari mineral yang tidak terbakar dari suatu substansi. Kadar abu dapat merepresentasikan komponen anorganik, terutama mineral, seperti kalsium, magnesium, kalium, natrium, dan fosfat. Kandungan mineral seperti kalsium, natrium, dan sulfur yang ditambahkan sebagai perlakuan awal (*pre-treatment*) berdampak pada peningkatan kadar abu keripik kentang (Arum *et al.*, 2022). Selain itu, kadar abu dari suatu substansi dapat menggambarkan kemurnian dari substansi tersebut. Begitu pula dengan kadar abu pada pektin hasil ekstraksi yang dapat menggambarkan kualitas, kemurnian, serta kandungan mineral di dalamnya. Semakin tinggi kemurnian pektin maka semakin rendah kadar abu dari pektin hasil ekstraksi (Biratu *et al.*, 2024).

Secara umum, kadar abu dapat diukur dengan cara membakar sampel pada suhu yang sangat tinggi, yaitu 500–600 °C, hingga semua bahan terbakar dan menyisakan residu yang tidak dapat terbakar. Residu tersebut dihitung sebagai abu. Kadar abu tuliskan dalam bentuk persen dengan membandingkan berat abu dengan berat sampel awal sebelum proses pengabuan. Semakin rendah kadar abu pada pektin menunjukkan kemampuan gelasi yang lebih baik (Haque *et al.*, 2025).

2.2.1.5. Keasaman. Keasaman menjadi salah satu parameter untuk mengetahui sifat kimiawi dari suatu substansi. Keasaman dari suatu substansi dikuantifikasi dalam bentuk derajat keasaman atau alkalinitas dengan satuan pH (*potential*

Hydrogen). Nilai pH merupakan bentuk logaritma negatif dari konsentrasi ion Hidrogen (H^+) dalam suatu larutan atau substansi terlarut. Nilai pH memiliki sifat logaritmik, artinya perubahan satu unit nilai pH setara dengan perubahan 10 kali konsentrasi H^+ . Semakin tinggi konsentrasi ion Hidrogen yang terdapat dalam larutan, maka semakin asam larutan tersebut dan semakin rendah nilai pH yang ditunjukkan. Rentang pH yang menggambarkan sifat suatu larutan dibagi dalam tiga golongan, yaitu larutan bersifat asam dengan rentang pH 0–6,9; larutan bersifat netral dengan pH 7; dan larutan bersifat basa yang memiliki rentang pH 7,1–14. Pengukuran pH dapat dilakukan menggunakan indikator keasaman dalam bentuk estimasi nilai pH atau menggunakan pH meter digital yang mengukur nilai pH suatu larutan berdasarkan perbedaan potensi listrik dari elektroda pengukur dengan elektroda acuan.

Nilai pH menjadi penting karena mempengaruhi stabilitas produk, aktivitas enzimatis, atribut sensori dari produk pangan (tekstur, rasa, warna, aroma), serta sifat-sifat kimia maupun sifat-sifat fisika dari suatu substansi. Pengukuran nilai pH dalam industri pangan sangat diperlukan karena dapat mempengaruhi formulasi, metode pengolahan, hingga metode penyimpanan dan daya simpan produk. Sebagai contoh, nilai pH dari suatu produk dimanfaatkan dalam proses pengawetan pangan yang terkait dengan keamanan mikrobiologis.

Pektin merupakan jenis polisakarida yang bersifat asam lemah karena keberadaan gugus karboksil bebas dari asam galakturonat dalam struktur molekulnya. Semakin tinggi jumlah gugus karboksil bebas ($-COOH$) yang terdapat pada struktur pektin menyebabkan pH larutan pektin semakin rendah. Semakin

tinggi BE pektin semakin rendah pH larutan karena polimerisasi yang terjadi pada pektin (Haque *et al.*, 2025). Keasaman pada pektin sangat berkaitan dengan kadar metoksil atau DM dari pektin. Pektin jenis HMP memiliki gugus karboksil bebas yang lebih rendah dengan gugus metil ester yang lebih tinggi menyebabkan pektin jenis ini membutuhkan lingkungan yang lebih asam untuk membentuk gel. Jenis pektin HMP yang dapat terbentuk gel dengan baik pada rentang pH 2,8–3,5. Nilai pH yang kurang dari 3,5 mendukung pembentukan gel yang kuat pada HMP, serta mempengaruhi pembentukan jembatan kalsium dan kekuatan gel pada LMP dengan rentang perubahan pH tertentu (Huang *et al.*, 2025).

Pektin jenis LMP yang memiliki gugus karboksil bebas lebih tinggi, namun gugus metil ester yang lebih rendah, sehingga memiliki pH yang cenderung sedikit lebih rendah dibandingkan dengan HMP. Pektin memiliki sensitivitas tinggi terhadap kondisi keasaman lingkungannya. Keasaman lingkungan berdampak pada interaksi elektrostatis antara pektin dengan protein, polisakarida, dan ion logam dengan mengubah muatan pektin, sehingga dapat mempengaruhi proses gelasi dan stabilitas gel yang terbentuk (Huang *et al.*, 2025). Nilai pH yang terlalu tinggi atau kondisi yang terlalu basa dapat menyebabkan gugus -COOH terionisasi menjadi -COO^- dan berdampak pada reaksi tolak menolak antar molekul pektin, sehingga pektin tidak dapat membentuk gel dengan baik. Reaksi tolak menolak tersebut lebih sering terjadi pada pektin dengan DM tinggi yang memiliki gugus metil ester lebih tinggi (Eichhorn *et al.*, 2024).

2.2.2. Sifat Fisik Pektin

Sifat fisik atau *physical properties* secara umum dapat didefinisikan sebagai karakteristik dari suatu substansi yang dapat dilihat atau diukur tanpa ada perubahan pada struktur kimiawi dari substansi tersebut. Sifat fisik suatu substansi secara umum dapat mencakup sifat-sifat seperti warna, aroma, kekerasan, kelarutan, densitas, titik leleh, titik didih, viskositas, tekstur, reologi (*flow behavior*), *water holding capacity* (WHC), dan kemampuan mengalirkan suhu (*thermal conductivity*). Mengetahui sifat fisik suatu substansi berfungsi untuk mengenal sifat dan karakteristik suatu substansi lebih baik, sehingga dapat mengoptimalkan pemanfaatan serta mendukung penyesuaian substansi dengan proses hingga dapat diperoleh suatu produk akhir yang sesuai kualitas yang diinginkan. Sifat fisik pektin secara umum meliputi kelarutan (*solubility*), kemampuan membentuk gel (*gelling ability*), reologi, viskositas (*viscosity*), kadar bahan kering, dan warna.

2.2.2.1. Kelarutan (*Solubility*). Kelarutan atau solubilitas (*solubility*) merupakan kemampuan dari suatu substansi atau disebut dengan zat terlarut, baik dalam bentuk padat, cair, dan gas untuk larut (*dissolve*) dalam suatu pelarut hingga membentuk suatu larutan. Kelarutan suatu substansi sangat dipengaruhi oleh faktor suhu, keasaman, ukuran partikel, polaritas, dan tekanan. Pektin dengan ukuran partikel yang lebih kecil, serta porositas dan luas permukaan partikel yang lebih tinggi memiliki sifat amorf dan kelarutan yang lebih tinggi pula (Begum *et al.*, 2017). Substansi yang berperan sebagai zat terlarut dapat digolongkan menjadi tiga

golongan berdasarkan kelarutannya, yaitu mudah larut (*highly soluble*), sedikit larut (*sparingly soluble*), dan tidak dapat larut (*insoluble*).

Secara umum, kelarutan suatu substansi dalam pelarut tertentu diukur dengan cara melarutkan sejumlah substansi hingga mencapai titik jenuh, yaitu ketika substansi yang dilarutkan tidak dapat terlarut lagi. Kelarutan suatu substansi dapat dituliskan berdasarkan satuan kuantitas substansi terlarut per zat pelarut, seperti gram per mililiter (g/ml) dan gram per liter (g/L). kelarutan juga dapat dituliskan berdasarkan massa zat terlarut per massa zat pelarut, seperti g/g atau g/kg. Selain itu, kelarutan suatu substansi dapat dituliskan dalam bentuk jumlah substansi terlarut dalam larutan, seperti jumlah mol zat terlarut dalam satu liter larutan (mol/L) dan dalam persentase zat terlarut dari larutan yang terbentuk. Kelarutan berfungsi untuk mendeskripsikan karakteristik suatu substansi, pelarut yang sesuai, dan karakteristik larutan yang terbentuk, serta berfungsi untuk menentukan metode pemisahan substansi terlarut dalam larutan.

Pektin secara alamiah merupakan substansi yang dapat larut dalam air. Meskipun demikian, pektin memiliki tingkat kelarutan yang lebih tinggi dalam air panas. Semakin tinggi suhu air sebagai pelarut akan meningkatkan kelarutan pektin. Suhu air pelarut yang umum digunakan untuk melarutkan pektin pada skala industri hingga suhu 60 °C atau lebih. Akan tetapi, struktur pektin memiliki stabilitas hingga suhu 80 °C, dan mulai terdegradasi setelahnya. Pektin memiliki stabilitas pada larutan asam hingga pH 4, namun struktur pektin lebih mudah terdegradasi pada pH yang lebih rendah dan pada pH basa. Kelarutan pektin cenderung meningkat pada pH yang lebih tinggi dari 4 (Begum *et al.*, 2017).

Selain suhu dan keasaman, kelarutan pektin turut dipengaruhi oleh struktur pektin, kandungan gula dan ion kalsium dalam pelarut, kadar metoksil (*methoxyl content*), derajat esterifikasi (DE), dan berat molekul pektin. Kelarutan pektin turut dipengaruhi oleh ukuran partikel pektin, porositas, dan luas permukaan molekul pektin (Begum *et al.*, 2017). Semakin panjang struktur rantai asam galakturonat cenderung menurunkan kelarutan pektin dalam air. Ditinjau dari kadar metoksil dan derajat esterifikasi, pektin yang digolongkan sebagai *High Methoxyl Pectin* (HMP) lebih mudah larut di suhu tinggi, pH larutan yang rendah, dan larutan dengan kandungan gula yang tinggi. Berbeda dengan pektin yang digolongkan sebagai *Low Methoxyl Pectin* (LMP) yang memiliki kelarutan lebih tinggi pada kondisi netral atau sedikit asam, yaitu pada rentang pH 3–5 (Chen *et al.*, 2021). Kemurnian dari pektin hasil ekstraksi turut mempengaruhi kemampuan pektin untuk larut.

Kemampuan pektin untuk larut dalam air atau pelarut lainnya berdampak pada proses pengolahan pangan dan produk pangan. Kelarutan pektin memberikan kontribusi pada tekstur, cita rasa, dan stabilitas dari produk pangan. Kelarutan pektin dapat mempengaruhi kemampuan pembentukan gel (*gelation*) dan stabilitas pada produk selai, permen jeli, yoghurt, dan produk susu lainnya. Pektin dari kulit jeruk yang memiliki kelarutan (*water solubility*), *water holding capacity* (WHC), dan viskositas yang lebih tinggi dapat membentuk ikatan lebih kuat dengan air dalam produk pangan, sehingga menciptakan tekstur yang lebih baik dengan sineresis yang rendah selama masa simpan, seperti pada produk yoghurt (Sharma *et al.*, 2022). Produk olahan pangan berbasis kentang turut terpengaruh oleh kelarutan pektin. Kemampuan pektin untuk larut mempengaruhi

struktur seluler kentang dan mempengaruhi kemampuan produk kentang untuk mempertahankan kelembaban (*moisture retention*), tekstur produk, kekerasan (*firmness*), serta kualitas produk secara keseluruhan. Selama proses pengolahan kentang secara umum, proses gelatinisasi pati terjadi dan mendesak dinding sel, sehingga pektin terdesak masuk ke dalam sel, berinteraksi dengan enzim *pectin methylesterase*, serta membentuk struktur yang kokoh (Sjölin *et al.*, 2018).

2.2.2.2. Kemampuan Membentuk Gel (*Gelling Ability*) Sifat fisik dari pektin dapat dilihat dari salah satu sifat fungsionalnya, yaitu kemampuan pektin dalam membentuk gel atau *gelling ability*. Secara umum, *gelling ability* merupakan kemampuan suatu substansi, baik zat, senyawa, atau campuran, untuk berubah wujud dari fase cair (*liquid state*) ke fase gel semi padat (*semi-solid state*) atau padat akibat perubahan kondisi lingkungan. Proses perubahan dari fase cair ke fase semi padat atau padat disebut juga dengan proses gelasi. Gel dalam hal ini merupakan campuran koloid yang berada di antara sifat zat cair dan zat padat. Terbentuknya gel diakibatkan oleh adanya interaksi antar molekul yang membentuk struktur tiga dimensi (3D) dan memerangkap air serta substansi lain di dalamnya.

Kemampuan gelasi suatu substansi, secara umum, dipengaruhi oleh suhu atau temperatur larutan, keasaman, konsentrasi substansi terlarut dalam larutan, dan keberadaan substansi lain dalam larutan. Selain itu, struktur primer dan *spatial conformation* suatu molekul memiliki pengaruh yang saling berkaitan dalam menentukan sifat dan kemampuan gelasi larutan (Cui *et al.*, 2023). Faktor tersebut dapat mempengaruhi kemampuan gelasi suatu substansi yang didukung dengan karakter substansi yang berperan sebagai *gelling agent*. Contoh substansi yang

memiliki sifat fungsional sebagai *gelling agent* adalah protein dan polisakarida. Salah satu polisakarida yang memiliki fungsi sebagai *gelling agent* yaitu pektin, struktur heteropolisakarida pada dinding sel tanaman (Dasgupta dan Shah, 2020).

Kemampuan pektin sebagai polisakarida kompleks dalam membentuk gel (*gelling ability*) dipengaruhi oleh berbagai faktor, mulai dari faktor struktur pektin hingga lingkungan. Faktor-faktor tersebut meliputi derajat esterifikasi dan metoksilasi, tingkat keasaman atau pH larutan, konsentrasi gula, dan keberadaan ion kalsium. Kemampuan gelasi pada pektin sangat dipengaruhi oleh sifat kimiawi, komposisi pektin, dan berat molekul pektin serta konsentrasi sukrosa, pH larutan, dan konsentrasi pektin (Begum *et al.*, 2021). Pektin yang tergolong sebagai *High Methoxyl Pectin* (HMP) memiliki *gelling ability* lebih baik dan stabil dalam kondisi asam dan kehadiran gula. Terbentuknya gel HMP terjadi melibatkan ikatan hidrogen dan interaksi hidrofobik. Berbeda dengan pektin jenis *Low Methoxyl Pectin* (LMP) yang dapat membentuk gel dengan baik ketika terdapat ion kalsium dalam larutan. Kemampuan gelasi pektin sangat dipengaruhi oleh derajat metil esterifikasi pektin (Haque *et al.*, 2025). Pektin jenis LMP memiliki *gelling ability* yang baik ketika terdapat ion kalsium dalam larutan, meskipun tanpa keberadaan gula. Kalsium ion pada pelarut dapat membentuk ikatan silang dengan molekul pektin dalam model *egg-box*. Konsentrasi gula seperti sukrosa dan fruktosa yang tinggi sangat mempengaruhi pembentukan gel HMP dengan pH lingkungan yang rendah, sedangkan pembentukan gel LMP dipengaruhi oleh interaksi antara ion gugus karboksil dan ion kalsium (Biratu *et al.*, 2024).

Konsentrasi ion kalsium pada pelarut untuk jenis pektin LMP sangat mempengaruhi tekstur gel yang terbentuk. Namun, pektin jenis LMP tidak sensitif terhadap keasaman atau pH pelarut. Meskipun demikian, LMP membentuk gel dengan baik pada rentang pH 3–5 (Chen *et al.*, 2021). Hal tersebut berbeda dengan pektin jenis HMP yang memiliki kemampuan gelasi lebih baik pada rentang pH 2,8 hingga 3,5. Suhu atau temperatur pelarut dan kelarutan pektin cukup berpengaruh untuk memaksimalkan proses dispersi pektin, sehingga gel yang terbentuk lebih seragam. Selain itu, berat molekul dan struktur pektin berperan dalam meningkatkan atau menurunkan kemampuan gelasi pektin. Berat molekul (*molecule weight*) yang tinggi dengan DE dan kadar abu yang rendah dapat membentuk struktur gel yang lebih kuat (Begum *et al.*, 2021). Kemampuan pektin dalam membentuk gel sangat mempengaruhi tekstur pada produk olahan kentang. Pektin pada kentang dapat membentuk gel dan mempertahankan rigiditas dinding sel selama proses pengolahan. Pembentukan ikatan silang oleh struktur pektin selama proses pengolahan mempengaruhi densitas dinding sel kentang dan tekstur hasil olahan kentang (Répás *et al.*, 2024). Secara langsung, *gelling ability* dari pektin dapat memengaruhi kemampuan kentang untuk mempertahankan kelembaban (*moisture retention*), kekerasan, kerenyahan, kelembutan, dan penyerapan minyak pada produk olahan kentang goreng.

2.2.2.3. Reologi (*Rheology*). Reologi merupakan ilmu yang mempelajari tentang perubahan bentuk atau deformasi dan aliran suatu substansi ketika diberi gaya. Substansi yang dimaksud dapat berupa cairan maupun padatan. Komponen utama dalam reologi mencakup viskositas, elastisitas, dan plastisitas. Reologi sebagai

salah satu sifat fisik yang dapat diukur menggunakan *rheometer*. Konsep pengukuran reologi dari suatu substansi dilakukan dengan mengukur respons dari substansi ketika diberi gaya (*stress*) dan deformasi (*strain*) dalam waktu tertentu.

Parameter yang diobservasi untuk mengukur reologi dari suatu substansi mencakup *shear stress* (τ), *shear rate* (γ), viskositas (η), modulus elastik (G'), modulus viskos (G''), dan *yield stress* (σ_y). *Shear stress* (τ) merupakan ukuran gaya geser per satuan luas. *Shear rate* (γ) merupakan ukuran laju perubahan deformasi. Viskositas (η) merupakan ukuran kekentalan dengan membandingkan *shear stress* dengan *shear rate*. Modulus elastik atau *storage modulus* (G') merupakan ukuran respons elastisitas substansi, sedangkan modulus viskos atau *loss modulus* (G'') merepresentasikan respons cair atau energi yang berubah menjadi panas pada analisis mekanika dinamis. Sifat reologi larutan dinyatakan cenderung pada sifat struktural viskos ketika $G' \leq G''$ seiring dengan peningkatan frekuensi sudut (*angular frequency*, ω) (Abouzeid *et al.*, 2025). Rasio antara modulus viskos dan modulus elastik (G''/G') atau *loss tangent* ($\tan \delta$) digunakan untuk mengevaluasi kecenderungan sifat suatu substansi pada sifat padat ($\delta < 1$) atau pada sifat cair ($\delta > 1$). Ketika G' lebih besar daripada G'' , artinya *loss factor* atau *loss tangent* kurang dari satu ($\tan \delta < 1$) yang menggambarkan sifat reologi sampel cenderung pada sifat padat (*Solid-like*) (Kaczmarzka *et al.*, 2024).

Reologi dalam industri pangan berfungsi sebagai atribut atau parameter untuk memahami, mengontrol, dan merekayasa proses produksi, tekstur, stabilitas fisik, dan *mouthfeel* atau sensasi di mulut dari produk pangan. Proses produksi seperti proses pengisian botol, proses pencetakan, dan proses pemompaan membutuhkan

kontribusi pengetahuan mengenai karakter reologi dari bahan atau produk pangan terkait. Tekstur yang dimaksud dalam bagian ini dapat mencakup kekentalan, kerenyahan, kekerasan, kekenyalan, dan *creaminess*. Stabilitas fisik produk yang dapat dikontrol menggunakan parameter atau karakter reologinya yaitu untuk mencegah pemisahan dan pembentukan endapan pada produk pangan, seperti produk selai, saus, jus, sari kacang-kacangan, susu, dan makanan kaleng.

Selama proses produksi, pengetahuan mengenai karakteristik reologi produk sangat dibutuhkan mulai dari proses formulasi, proses produksi, kontrol mutu, hingga kenyamanan konsumen. Reologi dalam proses formulasi produk digunakan untuk membantu menentukan bahan-bahan pangan yang akan digunakan untuk mencapai tekstur target. Karakter reologi produk ketika proses pengolahan pangan dilakukan untuk mengontrol mobilitas dan stabilitas produk selama proses pengolahan. Reologi dapat membantu proses perencanaan, desain, hingga pemilihan alat-alat produksi, serta kondisi proses sebelum hingga sesudah pengolahan sehingga tidak menimbulkan efek yang tidak diinginkan pada produk.

Reologi dapat digunakan pula untuk menentukan standar dan konsistensi mutu produk selama proses pengolahan hingga produk mencapai tangan konsumen. Sifat reologi (*rheology properties*), yang mencakup viskositas, merupakan parameter penting dalam menggambarkan *flow behavior* dari pektin yang terlarut dan berkaitan langsung dengan aplikasi pektin dalam pangan sebagai pengental dan pembentuk gel. Selain itu, keberadaan pektin mampu berinteraksi dengan komponen lain dalam kentang seperti protein kentang dengan membentuk

konjugasi, mempengaruhi viskositas, meningkatkan kemampuan lubrikasi, dan meningkatkan atribut tekstur olahan kentang (Soltanahmadi *et al.*, 2023).

Pektin merupakan polisakarida yang bersifat viskoelastik. Sifat viskoelastik pada pektin menggambarkan sifat cair dan sifat padat yang dipengaruhi oleh konsentrasi, struktur molekuler, dan kondisi lingkungan. Sebagai polimer viskoelastik, pektin tergolong dalam sistem reologi kompleks. Larutan pektin bersifat sebagai larutan koloid sebelum terjadi proses gelasi atau ketika konsentrasi larutan berada di bawah konsentrasi gelasi. Larutan pektin pada kondisi tersebut menunjukkan sifat *shear-thinning*. Larutan pektin menjadi semakin encer ketika gaya dan kecepatan pengadukan meningkat. Viskositas yang terbentuk ketika pektin dalam bentuk larutan koloid sangat dipengaruhi oleh konsentrasi, suhu, dan pH atau keasaman larutan. Selain itu, jumlah ikatan rantai samping RG-I pada struktur pektin sangat mempengaruhi sifat reologi dari pektin kulit jeruk (Cui *et al.*, 2021).

Hal yang berbeda terjadi ketika proses gelasi telah terjadi. Reologi pektin sebagai gel memiliki modulus elastik (G') yang tinggi, sehingga pektin memiliki sifat padatan. Selama fase ini, kekuatan dan stabilitas gel pektin dapat diukur dengan metode osilasi. Sifat reologi, termasuk viskositas pektin, sangat dipengaruhi oleh struktur pektin serta gugus asetil pada pektin yang dapat mengubah sifat elastik gel menjadi cenderung pada sifat viskos ketika gugus asetil dan metil ester berkurang secara signifikan (Sengkhamarn *et al.*, 2010). Sifat reologi atau *rheology behavior* dari pektin dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti konsentrasi, suhu, pH, derajat esterifikasi (DE), dan keberadaan ion kalsium (Ca^{2+}). Sifat reologi

pektin menjadi salah satu atribut yang dapat digunakan pada proses modifikasi struktur pektin melalui gugus *rhamnose* dan *arabinose* melalui modifikasi enzimatis (Kaczmarek *et al.*, 2024). Derajat esterifikasi (DE) pektin mempengaruhi jenis pektin dan mekanisme pembentukan gel pada pektin. Pektin yang termasuk sebagai HMP sangat dipengaruhi oleh pH dan konsentrasi gula. Proses gelasi pektin HMP pada pH rendah menyebabkan sifat elastisnya meningkat. Berbeda dengan pektin LMP yang memiliki nilai modulus yang meningkat seiring dengan meningkatnya ion kalsium dalam larutan. Pektin LMP membentuk ikatan silang dengan kalsium atau kation multivalensi dan membentuk struktur gel yang kokoh (Haque *et al.*, 2025). Jenis pektin amidasi atau pektin termodifikasi memiliki sifat reologi yang serupa dengan pektin jenis LMP, namun memiliki kebutuhan ion kalsium yang lebih rendah dibandingkan dengan pektin LMP.

2.2.2.4. Viskositas (*Viscosity*). Viskositas atau *viscosity* merupakan salah satu sifat fisik dari suatu substansi cair hingga *semi solid*. Viskositas menunjukkan kemampuan suatu substansi cair untuk mempertahankan aliran ketika diberi gaya berkaitan dengan hambatan internal dari substansi tersebut. Viskositas secara umum dapat menggambarkan kekentalan dari suatu larutan. Viskositas larutan secara sederhana dibagi dalam dua golongan yaitu viskositas rendah (*low viscous*) dan viskositas tinggi (*high viscous*). Viskositas terbentuk sebagai gaya gesekan internal ketika lapisan-lapisan molekul dalam substansi fluida mengalir dalam kecepatan gerak yang berbeda. Semakin tinggi viskositas suatu larutan, semakin besar gaya gesek yang dimiliki dan menjadi semakin kental larutan tersebut.

Pengukuran viskositas dari suatu larutan dapat dilakukan melalui beberapa metode, seperti menggunakan viskometer dan *rheometer*. Contoh viskometer yang digunakan untuk mengukur viskositas yaitu viskometer kapiler seperti viskometer *Ostwald*, viskometer rotasi seperti viskometer *Brookfield*, dan *falling ball viscometer*. Hasil pengukuran viskositas umumnya dituliskan dalam satuan Pascal detik (Pa.s) atau *centipoise* (cP). Viskositas suatu larutan sangat dipengaruhi oleh suhu, tekanan, dan komposisi dari larutan. Viskositas yang menurun seiring dengan peningkatan laju deformasi menunjukkan bahwa substansi memiliki sifat *shear thinning* yang salah satunya dipengaruhi oleh rasio ikatan hidrogen antar molekul yang tinggi dan kuat (Abouzeid *et al.*, 2025).

Secara umum, pektin memberikan dampak signifikan pada viskositas suatu larutan karena sifat fungsionalitasnya sebagai pembentuk gel (*gelling agent*). Viskositas pektin dipengaruhi oleh derajat polimerisasi, cabang dari struktur pektin, dan konsentrasi pektin dalam larutan. Semakin tinggi konsentrasi pektin dalam larutan dapat meningkatkan viskositas pektin. Selain itu, semakin rendah berat molekul pektin turut mempengaruhi interaksi antar struktur pektin, sehingga menciptakan larutan pektin dengan viskositas yang tinggi (Cui *et al.*, 2021). Pembentukan struktur gel pada pektin dapat meningkatkan viskositas larutan, sehingga memberikan struktur yang kokoh. Konsentrasi pektin yang terlarut turut meningkatkan viskositas larutan karena pembentukan gel yang lebih tinggi dan lebih kuat, serta mendukung terbentuknya interaksi antar molekul pektin, seperti ikatan hidrogen, meningkat (Huang *et al.*, 2025).

Hal yang serupa terjadi selama proses pengolahan kentang. Viskositas pektin yang terbentuk dalam jaringan sel kentang mempengaruhi tekstur olahan kentang. Semakin rendah viskositas pektin yang dimiliki, kentang memiliki tekstur yang lebih lunak. Viskositas pektin dalam jaringan kentang yang tinggi dapat mendukung kentang tetap mempertahankan strukturnya dan tidak mengalami perubahan bentuk atau hancur ketika melalui proses pemasakan. Viskositas pektin kentang yang rendah pada umumnya menunjukkan sifat kentang yang *mealy*. Viskositas yang rendah pada kentang *mealy* berdampak pada kemampuannya mengikat air dan mempertahankan kelembaban, sehingga kentang cenderung menjadi kering, keras, dan rapuh. Viskositas yang tinggi pada pektin kentang mendukung proses pembentukan lapisan di permukaan kentang. Lapisan tersebut membantu kentang untuk mempertahankan strukturnya saat dan setelah proses pengolahan.

Viskositas pektin kentang turut mempengaruhi cita rasa atau *mouthfeel* dari jumlah pektin terlarut selama proses pengolahan. Modifikasi proses pengolahan yang dapat dilakukan untuk mengontrol viskositas pektin kentang diantaranya yaitu proses perebusan singkat (*blanching*) dan penambahan ion kalsium (Ca^{2+}) seperti kalsium klorida (CaCl_2). Pektin dalam kentang, sebagai bahan semi padat kompleks, berfungsi sebagai pemberi struktur antar sel. Bersama dengan kehadiran pati dan air, pektin mempengaruhi *rheology behavior* dari kentang yang selalu berubah selama proses pengolahan. Pektin pada kentang bersifat viskoelastik yang sangat bergantung pada suhu dan pH. Sifat reologi pada kentang utuh selama proses pengolahan sangat dipengaruhi dari keberadaan pektin, pati, dan air dalam umbi kentang. Kadar pektin, pati, dan air, serta karakter pektin dalam kentang

mempengaruhi tekstur dan stabilitas produk hasil olahan kentang (Répás *et al.*, 2024). Viskositas dan reologi memiliki keterkaitan yang erat dalam menentukan jenis fluida serta respons pektin terhadap proses pencampuran atau pemanasan.

2.2.2.5. Kadar Bahan Kering. Kadar bahan kering atau *dry matter content* (DMC) merupakan salah satu parameter dalam sifat fisik suatu bahan yang mengindikasikan jumlah padatan dalam suatu substansi setelah menghilangkan atau menguapkan seluruh komponen air pada substansi tersebut. Kadar bahan kering dikategorikan sebagai sifat fisik (*physical characteristic*) dari suatu substansi secara umum karena proses pengukurannya dilakukan tanpa mengubah struktur kimia substansi tersebut. Meskipun demikian, DMC menjadi parameter penting untuk merepresentasikan jumlah padatan dalam suatu substansi. Padatan yang tersisa setelah air diuapkan secara keseluruhan dapat mencakup kandungan karbohidrat, protein, lemak, dan mineral.

Secara umum, DMC dapat diukur dengan cara mengeringkan substansi, kemudian membandingkan massa kering dengan massa total atau massa basah dari substansi. Hasil dari pengukuran pada umumnya ditampilkan dalam bentuk persen. Hasil pengukuran DMC dapat digunakan pula untuk mengukur kadar air (*moisture content*) dari suatu substansi dengan mengurangkan 100 % dengan persentase DMC. Mengetahui DMC dari suatu produk menjadi penting karena dapat menggambarkan konsentrasi zat aktif, seperti nutrisi dan pektin dalam suatu substansi. Kadar air yang tinggi pada bahan baku pektin dapat mempengaruhi dan

menurunkan laju ekstraksi pektin dengan menghambat laju difusi pelarut (Husnawati *et al.*, 2019).

Kadar bahan kering dalam pektin secara umum berfungsi untuk mengetahui karakter yang mendukung proses pemanfaatan dan penyimpanan pektin serta produk berbasis pektin. Pektin komersial hasil ekstraksi memiliki daya simpan yang lebih tinggi ketika DMC semakin tinggi. Tingginya DMC berbanding terbalik dengan kadar air (*moisture content*) sehingga semakin rendah kadar air pada pektin meningkatkan masa simpan dan mencegah pertumbuhan mikro organisme selama penyimpanan (Haque *et al.*, 2025). Selama formulasi dan proses pengolahan, DMC berfungsi untuk mengontrol konsentrasi pektin dan kemampuan gelasi pektin. Selain itu, DMC turut menentukan jumlah rendemen (*yield*), efisiensi produksi, kualitas pektin, dan efisiensi pektin dalam proses pembentukan gel.

2.2.2.6. Warna (*Color*). Warna menjadi salah satu atribut sifat fisik penting dari suatu substansi. Warna dapat menggambarkan atau menunjukkan komposisi, kondisi proses, dan kualitas dari suatu substansi biologis hingga bahan pangan. Warna dapat diobservasi secara langsung atau dikuantifikasi berdasarkan gelombang cahaya yang diserap, dipantulkan, atau ditransmisikan. Tampilan atau persepsi warna yang muncul diakibatkan oleh interaksi antara cahaya dan bahan, yang sangat dipengaruhi oleh struktur kimia, kristal, dan permukaan bahan. Warna menjadi salah satu sifat fisik yang penting untuk diketahui karena berfungsi sebagai indikator kualitas suatu bahan, indikasi perubahan selama proses akibat reaksi kimia, enzim, dan suhu, hingga menjadi atribut yang mempengaruhi daya tarik

konsumen. Warna menjadi indikator kualitas mutu produk yang dinilai oleh konsumen dan mempengaruhi daya terima produk pangan (Khajeh *et al.*, 2025).

Atribut warna sebagai sifat fisik suatu bahan dapat dikuantifikasi atau diukur secara objektif menggunakan *colorimeter* atau spektrofotometer. Sistem yang umum digunakan pada *colorimeter* merupakan sistem CIELAB (L^* , a^* , b^*), sedangkan spektrofotometer mengukur nilai absorbansi sampel berdasarkan gelombang cahaya yang diserap dan diteruskan. Sistem CIELAB atau CIE L^* a^* b^* merupakan sistem pengukuran warna tiga dimensi berdasarkan persepsi mata manusia yang dikembangkan oleh *Commission Internationale de l'Éclairage* (CIE). Sumbu atau parameter L^* mengindikasikan tingkat kecerahan atau terang-gelap dari suatu objek, dengan rentang umum 0 (hitam)–100 (putih). Sumbu atau parameter a^* mengindikasikan pergerakan warna hijau dan merah dengan rentang negatif (-) untuk kehijauan dan rentang positif (+) untuk kemerahan. Sumbu atau parameter b^* mengindikasikan pergerakan warna biru dan kuning, dengan rentang negatif (-) untuk kekuningan dan rentang positif (+) untuk kebiruan (Répás *et al.*, 2024). Perbedaan warna antar objek atau sampel dapat diukur menggunakan rumus perbedaan warna ΔE atau intensitas perubahan warna. Interpretasi hasil pengukuran warna dengan L^* , a^* , b^* dapat pula dilakukan dengan menghitung dan membandingkan intensitas warna atau *Chroma* (C^*) dan rona atau *Hue* (h°) (Khajeh *et al.*, 2025).

Pektin hasil ekstraksi secara umum memiliki warna kuning pucat hingga putih dalam bentuk bubuk atau butiran. Pektin bubuk bervariasi dari warna putih hingga coklat muda karena keberadaan komponen lain seperti minyak esensial dan vitamin

yang terekstrak bersama pektin (Haque *et al.*, 2025). Keberagaman warna pektin hasil ekstraksi disebabkan oleh sumber pektin dan metode ekstraksi yang digunakan. Warna menjadi parameter penting pada pektin yang mempengaruhi kenampakan gel yang terbentuk dan sangat dipengaruhi oleh metode ekstraksi serta bahan yang digunakan sebagai sumber pektin (Frosi *et al.*, 2023). Pektin yang telah dilarutkan memiliki warna bening dan sedikit keruh. Tingkat kekeruhan dalam larutan pektin dipengaruhi oleh tingkat kemurnian pektin hasil ekstraksi. Warna dari pektin sangat penting dalam menggambarkan kualitas pektin secara visual dan kualitas citra produk hasil pengolahan.

Pektin dengan sifatnya yang dapat membentuk gel turut berperan dalam menangkap pigmen antosianin atau mempengaruhi stabilitas warna produk akibat interaksi pektin dengan pigmen warna, pH, dan ion kalsium. Kemampuan pektin dalam memerangkap komponen polifenol, seperti *lycopene*, menjadi ciri khas pektin hasil ekstraksi dari limbah tomat (Frosi *et al.*, 2023). Secara umum, pektin dalam produk pangan tidak memberikan warna langsung pada produk, tetapi turut menjaga struktur gel dan viskositas produk yang berdampak pada stabilitas warna produk. Begitu pula dengan warna pada kentang atau olahan kentang yang memberikan indikasi kualitas dan beriringan dengan perubahan struktur pektin di dalam kentang selama proses pengolahan, serta tekstur dan visual kentang.

2.2.3. Pektin dalam Pengolahan Pangan Berbasis Kentang

Struktur pektin sebagai polisakarida memiliki peran yang sangat penting dalam membentuk tekstur pada olahan pangan, terlebih pada kentang dan olahan

pangan berbasis kentang. Tekstur, pada umumnya, dapat didefinisikan sebagai kualitas dari suatu substansi yang dideskripsikan melalui citra atau sentuhan, seperti kasar, keras, halus, dan lembut. Tekstur pada pangan merujuk pada sifat fisik dan sifat sensoris dari suatu bahan pangan atau produk pangan. Tekstur dalam pangan menjadi salah satu atribut mutu sensori yang utama bersama dengan rasa, aroma, dan warna.

Tekstur pada pangan dapat dideskripsikan secara subjektif berdasarkan hasil interpretasi rangsangan yang terbentuk pada permukaan kulit manusia. Rangsangan sensori yang dimaksud seperti sentuhan, *mouthfeel* ketika mengunyah, atau dapat pula dideskripsikan berdasarkan penglihatan. Sensasi di mulut digunakan untuk mengetahui kemiripan tekstur kentang rebus dengan dan tanpa *freeze drying* (Répás *et al.*, 2024). Tekstur dalam bahan pangan dapat mencakup kekerasan (*firmness*), kekenyalan (*gumminess*), kerapuhan (*brittleness*), kelunakan atau kehalusan (*softness*), kekasaran (*grittiness*), kelengketan (*adhesiveness*), dan lain sebagainya. Tekstur keras atau *hardness* dari kentang goreng menjadi atribut penting untuk meningkatkan penerimaan konsumen terhadap produk akhir kentang goreng yang disukai konsumen (Khajeh *et al.*, 2025). Tekstur dapat diukur secara instrumental atau dikuantifikasi menggunakan *texture analyzer*. Sebagai contoh, atribut tekstur kerenyahan (*crispiness*) dapat dikuantifikasi berdasarkan hasil uji kompresi dengan menghitung jarak *probe* hingga sebelum patahan pertama menggunakan *texture analyzer*, dengan asumsi semakin renyah produk semakin rendah jarak yang terbentuk (Islam *et al.*, 2022).

Tekstur produk pangan sangat dipengaruhi oleh struktur dan komposisi bahan pangan, diantaranya komponen pektin. Pektin mempengaruhi pektin melalui mekanisme kerja pektin sebagai pengikat struktur sel, mempertahankan kelembaban, kemampuan membentuk gel, dan sifat viskoelastik yang dimiliki pektin secara umum. Pektin dalam industri pangan pada umumnya dapat mengubah dan mempengaruhi kualitas tekstur produk pangan dengan mengubah viskositas, kemampuan emulsi, dan kemampuan gelasi yang dimanfaatkan lebih lanjut untuk meniru kualitas sensori dari lemak (Huang *et al.*, 2025). Pektin pada dasarnya berfungsi sebagai perekat atau pengikat antar sel, sehingga dapat mempengaruhi tekstur keras, kompak, dan kuat pada kentang utuh. Selama proses pengolahan kentang, pektin dapat mengalami proses perubahan sifat fisikokimia seperti pelarutan, depolimerisasi, dan demetoksilasi. Suhu dan pH dapat memutus ikatan antara pektin dengan ion kalsium atau magnesium yang mengikat pektin pada dinding sel, sehingga pektin larut dan mengakibatkan tekstur berubah menjadi lunak. Proses pemasakan dengan suhu yang tinggi dapat memengaruhi struktur pektin dan permeabilitas sel sehingga dapat menurunkan atribut mutu tekstur pada produk pangan (Parhusip *et al.*, 2021).

Keasaman lingkungan, suhu, dan aktivitas enzim pektinase berperan pada proses depolimerisasi atau penguraian rantai panjang pektin. Proses tersebut berdampak pada penurunan viskositas dan kemampuan gelasi pektin. Nilai pH dan konsentrasi kation yang ditambahkan dalam larutan pektin menunjukkan perubahan viskositas yang signifikan dan berbeda berdasarkan sumber pektin yang digunakan (Yang *et al.*, 2022). Selain itu, proses demetoksilasi atau pelepasan gugus

metil yang kemudian membentuk gugus karboksil menyebabkan pektin memiliki kelarutan yang lebih tinggi dan pH yang lebih rendah.

Perubahan molekul pektin selama proses pengolahan kentang akibat perbedaan metode pengolahan yang digunakan mempengaruhi tekstur produk akhir olahan. Secara umum, struktur pektin mengalami degradasi dan penguraian selama proses pengolahan. Ikatan pektin yang melemah dan mulai terurai mengakibatkan viskositas internal pada kentang menurun dan sel-sel kentang lebih mudah terlepas. Sel-sel kentang yang terlepas mengakibatkan tekstur kentang menjadi lunak atau hancur. Tekstur kentang dipengaruhi oleh karakteristik dinding sel dan struktur ikatan silang pektin yang dipengaruhi oleh aktivitas enzim *pectin methylesterase* (Répás *et al.*, 2024). Ketika viskositas pektin kentang menurun, air dalam sel mudah keluar, sehingga kentang cenderung kering, keras, atau hancur setelah melewati proses pendinginan. Kondisi tersebut mempengaruhi kelembaban pada olahan kentang, terlebih pada kentang dengan metode pengolahan yang tidak melibatkan air dalam proses pengolahan, seperti penggorengan dan pengovenan.

Proses *blanching* dilakukan pada produk kentang untuk menjaga struktur pektin, sehingga viskositasnya tetap tinggi dan tekstur yang lebih terjaga. Proses *blanching* merupakan salah satu langkah penting untuk menjaga tekstur dan warna kentang, serta dapat mengurangi penyerapan minyak selama proses penggorengan (Islam *et al.*, 2022). Kehadiran asam selama proses pengolahan dapat mempengaruhi proses hidrolisis pektin, sehingga struktur dinding sel lebih cepat rusak. Penggunaan *edible coating* dari hidrokoloid dapat mengurangi tekstur keras pada kentang goreng (*fried potato strips*) dibandingkan dengan

kentang goreng yang tidak diberi perlakuan *hydrocolloid gum-based coating* (Khajeh *et al.*, 2025). Proses modifikasi yang umum digunakan untuk menjaga tekstur kentang salah satunya dengan menambahkan kalsium klorida (CaCl_2). Kehadiran kalsium klorida memberikan suplai ion kalsium (Ca^{2+}) yang dapat membentuk ikatan silang dengan molekul pektin dan menjaga struktur kentang tetap kokoh dan tidak mudah hancur. Proses *pre-treatment* dengan perendaman CaCl_2 0,5 – 1 % menunjukkan perbedaan tekstur yang signifikan pada keripik kentang dan menjadi keripik kentang dengan tekstur renyah (*crispness*) paling disukai oleh panelis (Arum *et al.*, 2022).

Selama proses perebusan ion kalsium yang mengikat pektin dapat larut ke dalam air yang berperan sebagai medium penghantar panas, sehingga kekuatan ikatan sel melemah. Pektin pada kentang kemudian terlepas, larut, dan mengalami degradasi. Sehingga, sel-sel kentang mulai terlepas, kemudian tekstur kentang menjadi lembut dan hancur. Penggunaan kalsium pada proses pengolahan keripik kentang untuk proses perendaman dapat meningkatkan kandungan kalsium dalam kentang, sehingga tekstur keripik kentang menjadi lebih renyah (Arum *et al.*, 2022). Pektin yang larut dan bercampur dengan air untuk merebus menyebabkan peningkatan viskositas air rebusan dan mempengaruhi proses distribusi panas selama proses pengolahan. Sedikit berbeda pada metode pengolahan kentang dengan dikukus. Pektin selama proses pengukusan larut dan mengalami degradasi, namun dengan proses yang lebih lambat karena kentang tidak langsung terkena air dalam jumlah besar. Kentang kukus cenderung memiliki struktur yang lebih terjaga dan kokoh dibandingkan dengan kentang yang direbus, namun memiliki tekstur

yang tetap lembut dan lunak. Karakteristik dinding sel dan pektin, serta aktivitas enzim *pektin methylesterase* dapat mempengaruhi kelarutan dinding sel yang kemudian berdampak pada tekstur kentang (Répás *et al.*, 2024).

Pengolahan kentang dengan metode penggorengan atau pemanggangan mengakibatkan suhu selama pengolahan sangat tinggi, sehingga pektin mengalami degradasi dengan cepat. Selama proses penggorengan, kandungan air pada kentang terlepas dan menguap dengan cepat. Tidak adanya air selama proses penggorengan menyebabkan jaringan pektin di permukaan kentang lebih pekat, sehingga struktur kentang lebih kaku. Air dan komponen larut air terlepas selama proses penggorengan, kemudian minyak masuk dan menciptakan tekstur kulit yang keras (Jafarin dan Mohammadnejad, 2020). Ketidakhadiran air pada pengolahan kentang dengan metode pemanggangan atau pengovenan menyebabkan tekstur luar kentang kering dan keras. Semakin lama kentang terpapar dengan suhu tinggi dalam pengolahan tanpa melibatkan air menyebabkan pembentukan kulit (*crust*) yang keras akibat proses pelepasan molekul air dari permukaan kentang yang berlangsung perlahan. Meskipun demikian, selama proses pemanggangan atau pengovenan proses degradasi pektin lebih lambat, sehingga struktur pektin melemah dengan tekstur yang lebih pada dibandingkan dengan olahan kentang yang digoreng. Modifikasi enzimatik menjadi salah satu proses modifikasi pada struktur *backbone* (RG-I) atau gugus *rhamnose* yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas produk berdasarkan sifat reologi pektin (Kaczmarska *et al.*, 2024).

2.3. Ekstraksi Pektin Kentang

Ekstraksi merupakan suatu proses yang digunakan untuk memisahkan komponen tertentu yang terkandung dalam suatu substansi kompleks. Proses ekstraksi pada umumnya dilakukan untuk memisahkan komponen spesifik menggunakan pelarut khusus seperti pelarut organik etil asetat, aseton, metanol, dan etanol (Jimenez-Champi *et al.*, 2023). Proses ekstraksi dilakukan berdasarkan prinsip perbedaan kelarutan antara komponen yang ingin diekstrak dengan pelarut dan substansi asalnya. Selain itu, pelarut yang digunakan untuk memisahkan komponen yang diinginkan seharusnya tidak bercampur dan bereaksi dengan substansi asal dari komponen yang ingin diekstraksi. Namun, terkadang penggunaan bahan tambahan seperti *chelating agent* pada proses ekstraksi menyebabkan residu *chelating agent* yang tidak mudah dihilangkan dari komponen hasil ekstraksi (Kashani *et al.*, 2022).

Proses ekstraksi dapat dilakukan untuk memisahkan komponen cair dari substansi cair (*liquid-liquid extraction*), memisahkan komponen dengan melarutkannya dari substansi padat (*solid-liquid extraction*), atau memisahkan komponen gas dari substansi cair (*gas-liquid extraction*). Metode ekstraksi yang lebih canggih mulai sering digunakan untuk mengoptimalkan proses ekstraksi dibandingkan dengan metode konvensional. Metode tersebut seperti penggunaan gelombang mikro atau *microwave assisted extraction* (MAE), *supercritical fluid extraction* (SFE), dan *pressurized liquid extraction* (PLE). Metode ekstraksi seperti MAE, *pulsed ultrasound extraction* (PUAE), *ultrasound-assisted extraction* (UAE), dan *enzyme-assisted extraction* (EAE) menjadi contoh “teknologi hijau”

atau *green technology* yang dapat meningkatkan kualitas hasil ekstraksi pektin, mempersingkat waktu ekstraksi dengan *yield* yang tinggi, serta meningkatkan efisiensi energi yang digunakan (Frosi *et al.*, 2023).

Proses ekstraksi pektin dilakukan untuk memisahkan komponen pektin dari bahan baku yang bersumber dari tanaman. Proses pemisahan pektin melalui proses hidrolisis dan isolasi pektin dari jaringan tumbuhan dilakukan secara kontinu hingga larut ke dalam solven (Cui *et al.*, 2021). Proses ekstraksi pektin dilakukan untuk memisahkan, memurnikan, dan menjadikannya sumber pektin komersial. Pektin komersial pada skala industri, secara umum diekstraksi dari kulit jeruk atau apel. Pektin komersial yang diekstraksi dari kulit jeruk (*citrus peel*) saat ini mendominasi hingga 85 %, 14 % pektin hasil ekstraksi dari ampas jus apel, dan sisanya merupakan pektin hasil ekstraksi dari ampas *sugar beet* (Frosi *et al.*, 2023). Tahapan proses ekstraksi pektin yang umum dilakukan mencakup tahap persiapan bahan dengan memperkecil ukuran dan *pre-treatment*, proses ekstraksi dengan pelarut asam, pemisahan, presipitasi, pencucian, pengeringan, penggilingan, dan penyimpanan. Penggunaan asam dan panas menjadi metode konvensional yang sangat umum digunakan untuk proses ekstraksi pektin. Ekstraksi dengan asam sitrat menghasilkan rendemen paling tinggi dengan DM rendah dan mengandung banyak komponen *anhydro galacturonic acid* (Dranca dan Oroian, 2018).

Proses ekstraksi dengan metode konvensional sangat bergantung pada faktor keasaman, suhu, dan waktu ekstraksi untuk menghasilkan pektin yang berkualitas. Waktu dan suhu yang tidak tepat pada metode konvensional dapat menghasilkan pektin dengan kualitas rendah, sehingga teknik dan metode ekstraksi memiliki

pengaruh signifikan pada hasil dan kualitas pektin (Haque *et al.*, 2025). Pelarut asam yang digunakan pada metode ini umumnya merupakan asam kuat untuk menjaga keasaman larutan. Keasaman larutan atau solven berkisar pada pH 1–3 dengan suhu ekstraksi 80–100 °C selama 60–360 menit (Cui *et al.*, 2021). Penggunaan asam, suhu, atau waktu ekstraksi yang tidak tepat dapat menyebabkan pektin mengalami depolimerisasi dan menurunkan kualitas pektin hasil ekstraksi. Penggunaan suhu yang terkontrol pada air sebagai pelarut dapat dilakukan untuk mengekstrak pektin, namun efektivitasnya cenderung lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan asam. Temperatur pada proses ekstraksi memiliki pengaruh yang besar pada proses degradasi, perubahan struktur, reaksi kimia, dan penurunan massa molekul pektin (Haque *et al.*, 2025).

Metode lain seperti penggunaan gelombang mikro atau *microwave-assisted extraction* (MAE) atau gelombang ultrasonik atau *ultrasound-assisted extraction* (UAE) digunakan untuk meningkatkan efektivitas dari proses ekstraksi pektin. Ekstraksi pektin dengan metode MAE dapat meningkatkan kemurnian pektin hasil ekstraksi dari kulit labu (Frosi *et al.*, 2023). Metode ekstraksi pektin menggunakan bantuan enzim menjadi metode dengan risiko degradasi pektin sangat rendah serta hasil yang spesifik. Selain itu, metode ini dinilai lebih ramah lingkungan meskipun membutuhkan waktu ekstraksi yang lebih lama. Metode ekstraksi EAE dapat meningkatkan *yield* hasil ekstraksi pektin dengan penggunaan energi yang lebih rendah (Haque *et al.*, 2025). Akan tetapi, metode-metode tersebut memiliki biaya operasi yang lebih mahal dengan penggunaan alat khusus, sehingga masih belum digunakan secara luas dalam skala industri.

Secara spesifik, ekstraksi dan karakterisasi pektin yang berasal dari kentang mulai dilakukan, terlebih untuk meminimalisasi limbah kentang. Ekstraksi pektin dari kentang banyak dilakukan dari kulit kentang dan ampas kentang. Hasil ekstraksi pektin dari ampas kentang menggunakan asam sitrat dan panas menghasilkan *yield* tertinggi, yaitu 8,63 %, dibandingkan penggunaan asam laktat, asam tartrat, asam nitrat, asam fosfat, dan asam sulfat (Kashani *et al.*, 2022). Namun, kandungan pektin total yang diperoleh tidak lebih banyak dari hasil ekstraksi pektin dari kulit jeruk atau apel. Pektin yang diekstraksi menggunakan asam sitrat dan panas menghasilkan *yield* sebanyak 16,12 % dari ampas apel (*Malus domestica*), 18,75 % dari jeruk lemon (*Citrus limon*), 30,18 % dari jeruk pepaya atau *citron* (*Citrus medica*) (Dasgupta dan Shah, 2020). Selain itu, pektin dari kulit kentang atau ampas kentang mengandung lebih banyak pektin tak larut atau kelarutannya rendah, serta lebih didominasi oleh pektin jenis LMP. Secara umum, pektin dari limbah kulit dan ampas kentang dikategorikan sebagai LMP dengan *degree of acetylation* (DA) yang tinggi dengan kadar asam galakturonat yang lebih rendah dibandingkan pektin komersial (Frosi *et al.*, 2023).

Metode ekstraksi pektin kentang yang paling sederhana dan mudah diterapkan yaitu dengan metode panas dan asam, serta bantuan alkohol pada proses pemurnian pektin. Ekstraksi pektin menggunakan asam merupakan metode yang paling umum digunakan untuk proses ekstraksi pektin komersial, terlebih penggunaan asam sitrat yang menghasilkan *yield* terbaik, dengan jumlah *anhydro galacturonic acid*, yang tinggi dan DM yang rendah (Dranca dan Oroian, 2018). Penggunaan bantuan enzim seperti pektinase, selulase, dan hemiselulase dapat

meningkatkan hasil ekstraksi pektin dengan kualitas yang lebih baik. Hasil ekstraksi pektin dengan metode EAE menghasilkan *yield* yang tinggi dengan kadar air dan kadar metoksil yang tinggi (Haque *et al.*, 2025).

Penggunaan metode MAE pada proses ekstraksi pektin dari kulit kentang dinilai menjadi metode yang paling efisien, tetapi risiko degradasi pektin yang tetap tinggi ketika suhu tidak terkontrol dengan baik. Selain kemungkinan degradasi, perbedaan tekstur dan struktur morfologi pada pektin hasil ekstraksi dengan metode konvensional memiliki struktur yang lebih homogen, halus, dan berpori dibandingkan dengan MAE atau UAE (Haque *et al.*, 2025). Berbeda dengan metode UAE, gelombang ultrasonik yang diberikan dapat membentuk fenomena *ultrasound cavitation*, sehingga dapat mempercepat pemecahan dinding sel, meningkatkan proses difusi pelarut, meningkatkan *yield*, dan mempercepat proses ekstraksi, serta dianggap efektif untuk bahan berserat seperti kulit kentang. Efek dari fenomena *cavitation* tersebut dimanfaatkan untuk pengaplikasian metode ekstraksi kombinasi antara UAE dan MAE untuk meningkatkan *yield* dan peningkatan stabilitas termal dari polisakarida hasil ekstraksi (Frosi *et al.*, 2023).

Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam proses ekstraksi pektin yaitu pH lingkungan selama proses ekstraksi, suhu, waktu, jenis asam, rasio pelarut, dan karakteristik bahan baku. Proses ekstraksi pektin pada umumnya optimal pada pH 1,5–2,5 dan waktu ekstraksi yang tidak lebih dari 2 jam. Ekstraksi pektin dari kulit ubi menggunakan asam sitrat diperkitarkan menghasilkan *yield* maksimal (65,2 %) pada pH 1,2 dan suhu 76 °C selama 64 menit (Hamidon *et al.*, 2020). Suhu ekstraksi yang digunakan perlu dikontrol untuk meminimalisasi kerusakan pada struktur

pektin yang dapat menurunkan kualitas dan fungsionalitas pektin hasil ekstraksi (Haque *et al.*, 2025).

Penggunaan asam penting untuk menurunkan pH larutan selama ekstraksi pektin. Semakin kuat jenis asam yang digunakan dapat mempengaruhi panjang rantai pektin dan jumlah asam bebas yang semakin menurun, seiring dengan peningkatan BE pektin hasil ekstraksi (Husnawati *et al.*, 2019). Rasio pelarut dan bahan baku menjadi faktor penting pada proses ekstraksi pektin terkait dengan efektivitas, efisiensi, dan kualitas hasil ekstraksi. Jumlah pelarut yang digunakan pada metode ekstraksi konvensional dianggap kurang efektif dan efisien, dapat mempengaruhi kualitas pektin yang dihasilkan, serta kemungkinan menimbulkan pencemaran lingkungan yang tinggi (Haque *et al.*, 2025).

BAB III

MATERI DAN METODE

3.1. Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 8 bulan mulai dari bulan Mei 2024 hingga bulan Januari 2025 di Laboratorium Rekayasa Pangan dan Hasil Pertanian (RPHP) serta Laboratorium Kimia dan Gizi Pangan (KGP) Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, Semarang.

3.2. Materi Penelitian

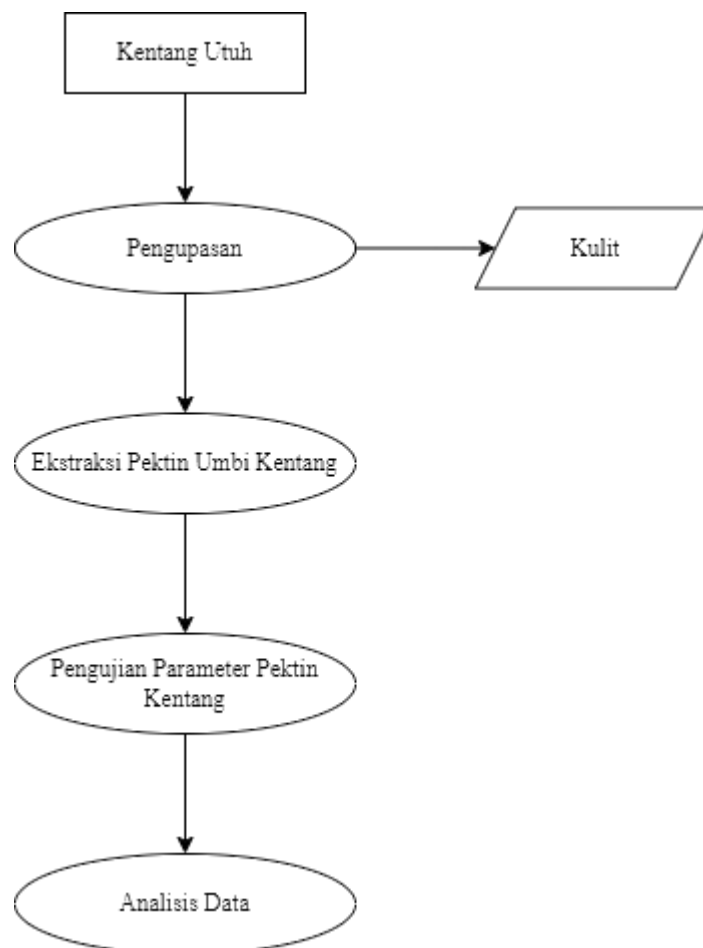
Materi dalam penelitian ini meliputi bahan dan alat yang digunakan. Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini yaitu umbi kentang kultivar Granola dan umbi kentang kultivar Atlantik yang diperoleh dari PT Agro Lestari Merbabu, Kecamatan Ngablak, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah. Bahan-bahan lain yang digunakan dalam penelitian ini mulai dari proses ekstraksi hingga pengujian yaitu akuades, asam klorida (HCl) pro analis 37 % (*Merck*, Jerman), etanol absolut 96 %, dan etanol 70 %.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *beaker glass* (IWAKI, Indonesia), gelas ukur (IWAKI, Indonesia), timbangan analitik (SHIMADZU, Jepang), pH meter (HANNA, Italia), *micropipette* (*Eppendorf*, Jerman), batang pengaduk, sendok sampel, *water bath* (MEMMERT, Jerman), termometer batang, *centrifuge tube* 50 ml, *centrifuge tube* 15 ml, *refrigerated centrifuge* (OHAUS, Amerika Serikat), *freeze dryer* (TEFIC, Cina), oven kadar air (MEMMERT,

Jerman), tanur (*Thermolyne Thermo Scientific*, Amerika Serikat), desikator, *crucible tongs*, *color reader* (*Konica Minolta*, Jepang), *hot plate stirrer* (*IKA*, Jerman), *centrifuge* (*HETTICH*, Jerman), dan *rheometer Physica MCR 301* (*Anton Paar*, Austria).

3.3. Metode Penelitian

Metode penelitian ini meliputi rancangan percobaan, prosedur penelitian, dan analisis data. Metode penelitian yang dilakukan digambarkan dalam Ilustrasi 6 sebagai alur penelitian secara keseluruhan.



Ilustrasi 6. Alur Penelitian Secara Keseluruhan

3.3.1. Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan rancangan percobaan deskriptif komparatif yang bersifat observasional untuk mendeskripsikan karakteristik fisikokimia pektin dari daging umbi kentang kultivar Granola dan kentang kultivar Atlantik. Penelitian ini dilakukan tanpa pemberian perlakuan atau variasi kondisi proses dan hanya membandingkan karakteristik dua kelompok sampel berdasarkan dua kultivar kentang yang berbeda. Sampel pektin kemudian dilakukan pengujian yang mencakup 7 (tujuh) parameter sifat fisikokimia, yaitu warna, kelarutan, viskositas, reologi, kadar bahan kering, kadar abu, dan pH.

Pengujian parameter sifat fisikokimia warna, kelarutan, kadar bahan kering, kadar abu, dan pH dilakukan masing-masing 4 (empat) kali ulangan uji. Data yang diperoleh kemudian dianalisis secara deskriptif dan secara statistik menggunakan uji beda dua sampel (*independent t-test*) untuk mengetahui signifikansi perbedaan parameter sifat pektin dari kedua kultivar. Pengujian parameter viskositas dan reologi dilakukan dalam bentuk pengambilan data kontinu pada 120 titik/detik untuk setiap sampel pektin dari kedua kultivar. Data yang diperoleh kemudian dianalisis secara deskriptif dengan ilustrasi berupa grafik untuk mengetahui perbedaan karakteristik pektin daging umbi kentang kultivar Granola dan Atlantik.

3.3.2. Prosedur Penelitian

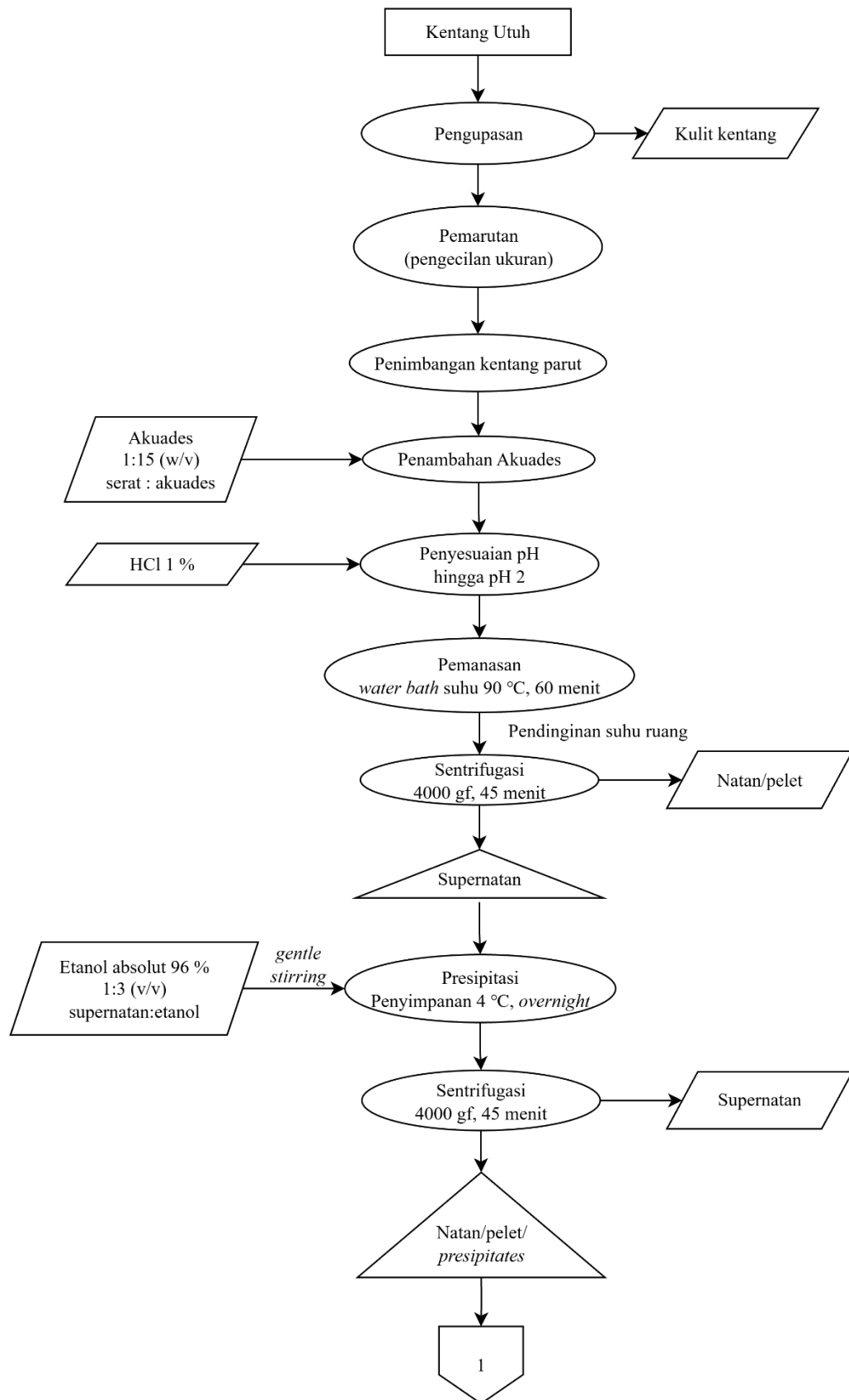
Prosedur penelitian yang dilakukan meliputi proses ekstraksi dan pengujian sampel pektin daging umbi kentang kultivar Granola dan kultivar Atlantik. Pengujian sampel pektin daging umbi kentang kultivar Granola dan kentang

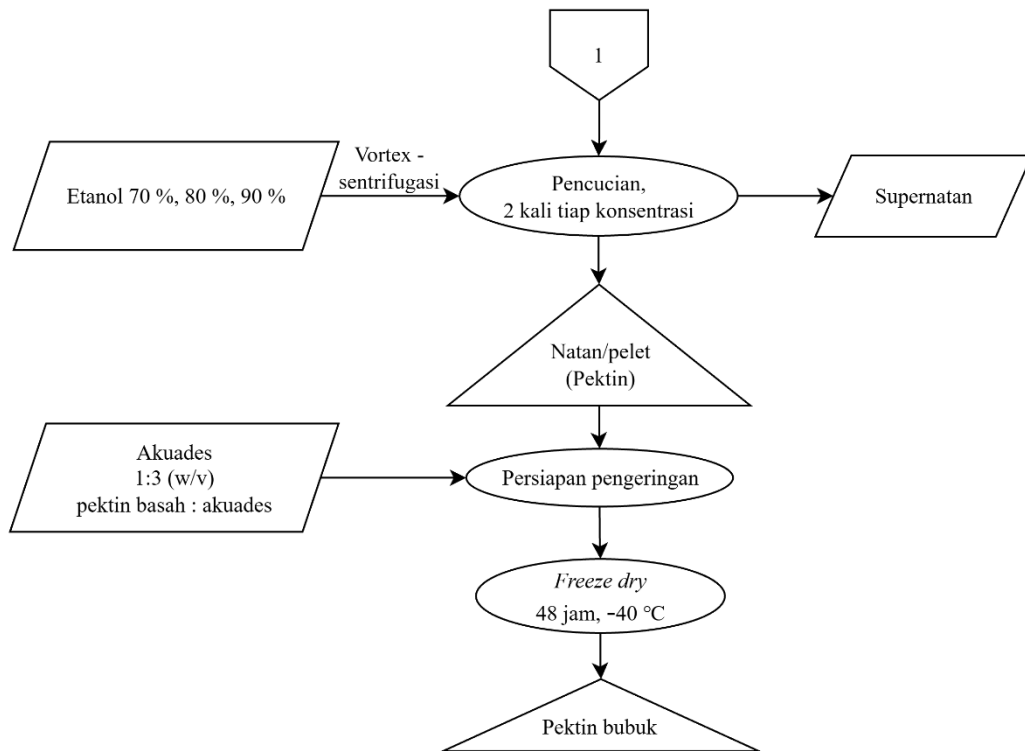
kultivar Atlantik dilakukan dengan mengamati parameter karakteristik sifat fisik pektin yang meliputi kelarutan, reologi, viskositas, kadar bahan kering, dan warna, serta sifat kimia yang meliputi kadar abu dan pH.

3.3.2.1. Ekstraksi Pektin. Proses ekstraksi pektin dari daging umbi kentang kultivar Granola dan kultivar Atlantik dilakukan dengan metode konvensional yang menggunakan asam sebagai pelarut dan bantuan panas. Proses ekstraksi pektin merujuk pada diagram alir yang tergambar pada Ilustrasi 7 menggunakan asam klorida (HCl) (Yang *et al.*, 2018).

Proses ekstraksi pektin dari daging umbi kentang diawali dengan proses pencucian kentang dengan air mengalir dan pengupasan kulit kentang. Daging dari umbi kentang kemudian diparut dan dicuci dengan akuades beberapa kali hingga endapan pati terpisah. Parutan kentang kemudian ditimbang dan ditambahkan ke dalam akuades dengan perbandingan 1:15 (w/v), kemudian ditambahkan HCl 1 % hingga pH 2. Campuran tersebut kemudian dipanaskan di dalam *water bath* dengan suhu 90 °C selama 60 menit. Setelah 60 menit, campuran tersebut didinginkan hingga suhu ruang dan dipindahkan ke dalam *centrifuge tube* 50 ml untuk proses sentrifugasi.

Proses sentrifugasi dilakukan dengan kecepatan 4000 gf selama 45 menit untuk memisahkan ampas parutan kentang dengan pelarut. *Supernatant* kemudian dipisahkan dan dicampur dengan etanol absolut 96 % untuk proses presipitasi semalaman. Pektin yang menggumpal setelah proses presipitasi, dipisahkan dengan sentrifugasi dan dicuci berulang dengan etanol 70 %, 80 %, dan 90 %. Setelah pencucian, endapan pektin dilarutkan dengan akuades (1:3, w/v) dan dikeringkan.





Ilustrasi 7. Diagram Alir Proses Ekstraksi Pektin dari Kentang

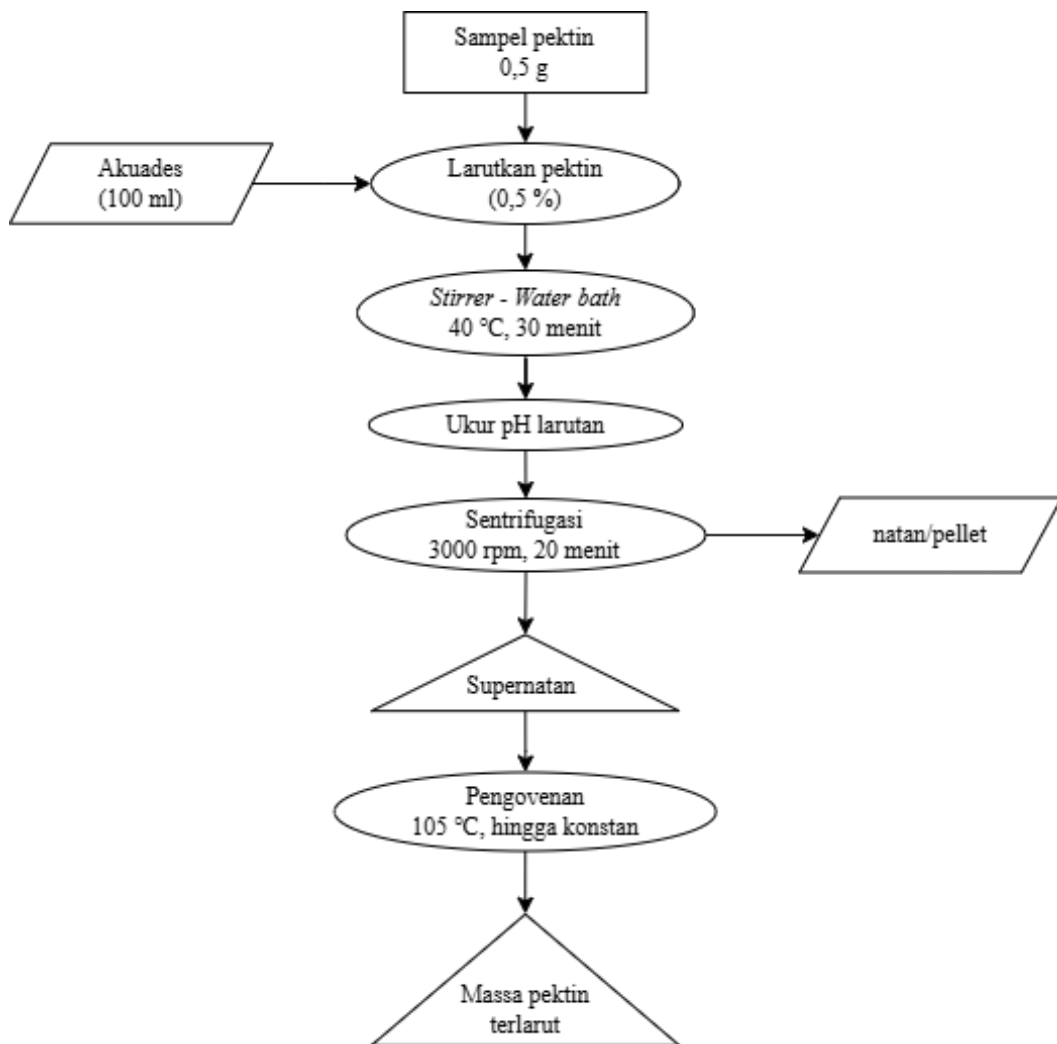
Pektin daging umbi kentang yang telah diekstraksi kemudian dihitung jumlah rendemen atau *yield* (*wet basis*) berdasarkan berat pektin kering setelah *freeze drying* menggunakan persamaan (3) (Yang *et al.*, 2018). Rendemen atau *yield* hasil ekstraksi pektin dari kedua kultivar kentang dihitung dengan membagi berat pektin kering (g) dengan berat parutan kentang (g) setelah pencucian, kemudian dikalikan dengan 100 %.

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{Berat pektin kering}}{\text{Berat kentang}} \times 100 \% \quad (3)$$

3.3.2.2. Pengujian Kelarutan. Pengujian parameter sifat fisik kelarutan dari pektin daging umbi kentang merujuk pada diagram alir yang tergambar pada Ilustrasi 8 (Ren *et al.*, 2019). Pektin kentang dari tiap kultivar ditimbang sebanyak 0,5 g, sebagai massa sampel, dan dilarutkan dengan 100 ml akuades. Proses pelarutan dilakukan dengan meletakkan campuran pektin dan akuades ke dalam water bath bersuhu 40 °C sembari dilakukan pengadukan selama 30 menit dengan stirring speed 2. Larutan yang terbentuk kemudian dipisahkan dengan sentrifugasi pada 3000 rpm selama 20 menit. Proses sentrifugasi dilakukan untuk memisahkan pektin yang tidak larut. *Supernatant* hasil sentrifugasi kemudian dikeringkan pada suhu 105 °C hingga mencapai berat konstan.

$$Kelarutan (\%) = \frac{Massa\ pektin\ terlarut}{Massa\ sampel} \times 100\% \quad (4)$$

Massa yang diperoleh dari proses pengeringan merupakan massa pektin terlarut. Persentase kelarutan pektin kentang hasil ekstraksi kemudian dihitung menggunakan persamaan (4) dalam bentuk persentase massa pektin yang terlarut (g) dibanding dengan massa sampel pektin aktual (g) (Ren *et al.*, 2019).



Ilustrasi 8. Diagram Alir Proses Pengujian Parameter Sifat Kelarutan Pektin Kentang

3.3.2.3. Pengujian Reologi dan Viskositas. Pengujian reologi dan viskositas dilakukan menggunakan *Rheometer Physica* MCR 301 (Anton Paar, Austria) dengan jenis *probe* berupa *parallel plate* 50 mm (Yu *et al.*, 2024). Sampel pektin dilarutkan menggunakan akuades dengan konsentrasi 80 mg/ml. Pengujian viskositas dilakukan pada suhu 25 °C dengan rentang *shear rate* 0,1–1000 s⁻¹,

serta uji *frequency sweep* untuk mengetahui G' dan G'' dilakukan pada rentang 0,1–10 rad.s⁻¹ pada regangan (*shear strain*) 2 %, suhu 25 °C (Yan *et al.*, 2021). Interval waktu pengujian selama 120 detik dengan pengambilan data setiap detik pada 120 titik.

3.3.2.4. Pengujian Kadar Bahan Kering. Pengujian kadar bahan kering atau *dry matter content* (DMC) dilakukan merujuk pada metode AOAC (2005) menggunakan oven adar air. Sampel pektin ditimbang sebanyak 0,5 g dan dimasukkan ke dalam cawan porselen kering yang telah dioven selama 1 jam sebelum digunakan. Sampel pektin kemudian dioven pada suhu 105 °C selama 4 jam. Setelah 4 jam pengovenan, sampel didinginkan di dalam desikator selama 30 menit dan ditimbang. Sampel kemudian dioven kembali pada suhu 105 °C selama 1 jam. Proses pengovenan dilakukan hingga massa sampel yang diperoleh konstan, artinya perubahan massa sampel dan cawan tidak lebih dari 0,02 g. Kadar bahan kering pektin kentang dihitung menggunakan persamaan (5) berikut ini dengan membandingkan massa sampel konstan setelah pengovenan (g) dan massa sampel sebelum pengovenan (g) (Wathoni *et al.*, 2019).

$$DMC (\%) = \frac{\text{Massa sampel konstan setelah pengovenan (g)}}{\text{Massa sampel sebelum pengovenan (g)}} \times 100\% \quad (5)$$

3.3.2.5. Pengujian Warna. Pengujian warna pektin daging umbi kentang hasil ekstraksi dilakukan menggunakan color reader pada sampel pektin kentang bubuk yang ditempatkan pada permukaan datar dengan ketebalan $\pm 0,1$ mm. Evaluasi instrumen warna berdasarkan CIELAB yang mencakup L^* (*lightness*) axis, a^* (*red – green*) axis, dan b^* (*yellow – blue*) axis (Otegbayo *et al.*, 2024). Perbedaan warna secara keseluruhan dari sampel pektin kedua kultivar kentang dilakukan menggunakan persamaan (6) untuk mengetahui ΔE^*_{ab} dari warna kedua sampel pektin kentang. Perbedaan warna dari kedua sampel dikatakan berbeda dan dapat terlihat perbedaannya oleh mata manusia ketika ΔE^*_{ab} menunjukkan nilai lebih dari 2 ($\Delta E^*_{ab} > 2$) (Doriat *et al.*, 2024).

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L^*_1 - L^*_2)^2 + (a^*_1 - a^*_2)^2 + (b^*_1 - b^*_2)^2} \quad (6)$$

3.3.2.6. Pengujian Kadar Abu. Pengujian kadar abu pektin daging umbi kentang merujuk pada prosedur AOAC (2005) menggunakan tanur atau *furnace* pada suhu 600 °C selama 4 jam. Sampel pektin masing-masing kultivar ditimbang sebanyak 1 g dan dimasukkan ke dalam cawan tanur yang telah dibakar di dalam tanur selama 1 jam untuk memastikan tidak ada sisa mineral yang tertinggal. Sampel yang telah keluar tanur kemudian didinginkan hingga suhu ruang di dalam desikator sebelum ditimbang. Kadar abu dihitung menggunakan persamaan (7) dengan membandingkan massa abu (g) dengan massa sampel pektin kentang aktual (g) (Biratu *et al.*, 2024).

$$\text{Kadar Abu (\%)} = \frac{\text{Massa abu (g)}}{\text{Massa sampel pektin (g)}} \times 100 \% \quad (7)$$

3.3.2.7. Pengujian Keasaman (pH). Pengujian pH larutan pektin hasil ekstraksi dilakukan dengan menguji pH larutan pektin 0,5 % dengan melarutkan 5 g sampel pektin kering pada 100 ml akuades. Pengujian dilakukan dengan pH meter digital (HANNA, Italia) pada suhu ruang (Ren *et al.*, 2019).

3.3.3. Analisis Data

Data yang diperoleh dari hasil pengujian dianalisis secara deskriptif serta disajikan dalam bentuk tabel dan diagram sebagai ilustrasi yang menggambarkan karakteristik pektin. Data dari pengujian parameter warna, kelarutan, kadar bahan kering, kadar abu, dan pH dilakukan analisis secara statistik menggunakan uji beda dua sampel (*independent t-test*) dengan bantuan *software* IBM SPSS Statistic 26 untuk mengetahui signifikansi perbedaan karakteristik antara dua sampel pektin kentang. Analisis statistik yang dilakukan menggunakan taraf kepercayaan 95 % ($\alpha = 0,05$) untuk menentukan hipotesis yang diterima. Hipotesis nol (H_0) yaitu tidak ada perbedaan signifikan pada sifat fisikokimia pektin kentang kultivar Granola dan kentang kultivar Atlantik. Hipotesis nol (H_0) diterima ketika nilai signifikansi hasil *independent t-test* menunjukkan nilai lebih dari 0,05 ($p > 0,05$). Sebaliknya, hipotesis alternatif (H_1) diterima ketika nilai signifikansi kurang dari atau sama dengan 0,05 ($p \leq 0,05$). Ketika H_1 diterima, artinya sifat pektin kentang kultivar Granola dan kultivar Atlantik berbeda nyata atau berbeda secara signifikan.