

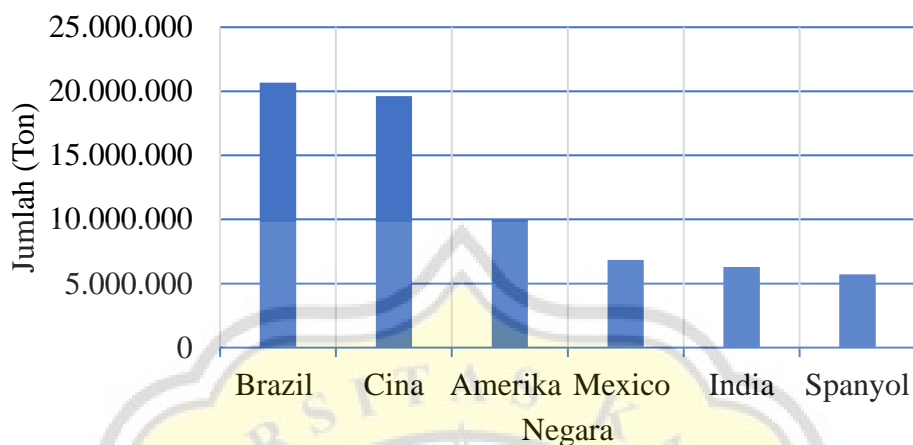
1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Produk pangan dibedakan menjadi 2, yaitu produk pangan hewani dan nabati. Buah merupakan salah satu jenis dari produk pangan nabati yang memiliki jumlah berlimpah dan banyak dikonsumsi masyarakat secara global, tidak terkecuali buah jeruk. Buah jeruk pertama kali ditemukan pada 2100 SM (Dosoky & Setzer, 2018). Jeruk tergolong dalam famili *Rutaceae* yang memiliki sekitar 140 genera dengan 1300 spesies, diantaranya *Citrus tangerine*, *Citrus paradisi* (Panwar *et al.*, 2021), *Citrus sinensis*, *Citrus reticulata*, *Citrus aurantifolia*, *Citrus limon*, *Citrus bergamia*, *Citrus junos*, *Citrus japonica* yang berasal dari kaki bukit Himalaya di India Utara, Myanmar Utara, Cina Selatan, Asia Tenggara dan menyebar hingga ke berbagai belahan dunia (Bora *et al.*, 2020).

Produksi buah jeruk secara global per tahunnya mencapai kurang lebih sebanyak 121 juta ton (Patsalou *et al.*, 2019). Berdasarkan data Knoema (2021), buah jeruk yang dihasilkan pada tahun 2019 mampu mencapai 157 juta ton. Terjadi pertumbuhan yang substansial pada produksi buah jeruk dalam rentang tahun 1970 hingga 2019 yang diiringi adanya peningkatan per tahun dari 39,6 juta ton menjadi 157 juta ton, dengan persentase maksimum 10,48% di tahun 1980 dan menurun menjadi 3,59% di tahun 2019. Brazil, Cina, Amerika, Mexico, India, dan Spanyol merupakan 6 negara yang memberikan kontribusi dua per tiga produksi jeruk di seluruh dunia (Satari & Karimi, 2018).

Data produksi jeruk pada ke-6 negara penghasil jeruk terbesar dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Produksi Buah Jeruk Per Tahun Pada 6 Negara Penghasil Buah Jeruk Terbesar Diadaptasi dari WorldAtlas (2017)

Gambar 1. menunjukkan bahwa per tahunnya negara Brazil menempati posisi pertama dengan jumlah kurang lebih sebanyak 20,682,306 ton, sedangkan negara Spanyol menempati posisi terakhir dengan total produksi buah jeruk berkisar 5,703,600 ton diantara 6 negara penghasil buah jeruk terbesar. Sementara itu di Indonesia, produksi jeruk dari tahun 2015 hingga 2019 terus mengalami peningkatan, dimana produksi jeruk pada tahun 2019 mencapai 25,63 ribu ton. Peningkatan produksi buah jeruk tersebut diiringi pula dengan peningkatan konsumsi dan partisipasi konsumsi yang mencapai 1.188.63 ribu ton dan 62,04% di tahun 2019 (BPS, 2019).

Kehilangan pangan (*food loss*) dan limbah pangan (*food waste*) memiliki pengertian khusus ; yang pertama adalah kehilangan sebagian kuantitas pangan yang dapat dikonsumsi di sepanjang rantai pasok dimulai dari tahap produksi, pasca panen, pemrosesan, hingga transportasi; sedangkan yang terakhir adalah pangan siap konsumsi yang terbuang (Okino-Delgado *et al.*, 2018). Dalam hal ini, limbah pangan dapat mencakup kehilangan bahan pangan dan limbah makanan. Banyaknya pangan yang terbuang per tahunnya secara global mampu mencapai 1,3 miliar ton, hal ini dikarenakan timbulnya ketidakseimbangan pada penawaran dan permintaan terhadap pangan tertentu khususnya saat musim panen dengan

kerugian pangan mencapai 25% dan kerugian ekonomi sebesar 33-75% yang diperparah saat musim paceklik (Shafiee-Jood & Cai, 2016). Limbah pangan tersebut dibedakan menjadi 2 jenis, yang meliputi *avoidable* dan *non avoidable food waste*. *Avoidable food waste* diartikan sebagai pangan yang pada suatu masa dapat dikonsumsi (Werf *et al.*, 2021), sementara *unavoidable food waste* merupakan limbah pangan yang berisi pangan yang tidak dapat dikonsumsi bahkan pada keadaan normal (Werf *et al.*, 2018). Kedua jenis limbah pangan tersebut memberikan kontribusi terhadap banyaknya jumlah limbah pangan yang dihasilkan.

Selain dikarenakan adanya ketidakseimbangan permintaan dan penawaran, seiring dengan meningkatnya produksi dan konsumsi buah jeruk secara tidak langsung akan berkontribusi pada banyaknya jumlah kehilangan dan limbah dari buah jeruk. Limbah buah jeruk tersebut umumnya didapatkan dari hasil pemrosesan buah jeruk dengan limbah berbentuk padat dan cair (Zema *et al.*, 2018). Secara umum, banyaknya limbah jeruk yang dihasilkan mencapai 30-70% dari massa buah jeruk yang sebagian besar didapatkan dari proses pengolahan buah jeruk menjadi jus jeruk yang meliputi kulit, biji, ampas, dan bagian lain dari buah jeruk yang tidak memenuhi persyaratan kualitas (Chavan *et al.*, 2018; McKay *et al.*, 2021). Berlimpahnya kehilangan dan limbah jeruk secara global menjadi salah satu tantangan bagi lingkungan disebabkan tidak adanya metode pemanfaatan dan pembuangan yang memadai (Bátori *et al.*, 2017).

Limbah buah jeruk memiliki berbagai potensi kimia dan kandungan zat gizi yang masih berpeluang untuk dimanfaatkan, seperti serat, mineral, asam organik, vitamin, asam fenolik, flavonoid, terpen, dan karotenoid (Nieto *et al.*, 2021) yang biasa disebut dengan *nutraceutical ingredients*. Kandungan *nutraceutical ingredients* memungkinkan produksi berbagai produk dengan tambahan kandungan nutrisi, manfaat kesehatan, umur simpan yang panjang, dan memiliki profil sensori yang baik (Faustino *et al.*, 2019). Oleh karena itu perlu ditemukan metode penanganan yang sesuai, tidak hanya mengurangi jumlah limbah tetapi sekaligus mampu menghasilkan produk yang punya nilai tambah.

Selama ini pemanfaatan limbah jeruk masih sangat terbatas, sebagian besar hanya ditimbun, dibakar, bahkan dibuang secara langsung ke tempat pembuangan akhir (Ong *et al.*, 2018). Hal ini disebabkan kurangnya pengetahuan dan teknologi, tempat, serta biaya dalam pemanfaatan limbah buah jeruk (Chavan *et al.*, 2018). Dampak lingkungan dari tidak tertanganinya limbah kulit jeruk dapat berupa emisi gas metana (CH₄) (Ishangulyyev *et al.*, 2019). Sebagai salah satu gas rumah kaca, metana memiliki potensi pemanasan global (*global warming potential*, GWP) 25 kali lebih tinggi dari karbondioksida (CO₂) dalam jangka waktu 100 tahun (Ke *et al.*, 2017).

Karakteristik fisikokimia dan biologis limbah buah jeruk masih perlu diungkap lebih jauh untuk dapat dimanfaatkan lebih lanjut. Sejumlah teknologi pemanfaatan limbah buah jeruk sudah tersedia namun masih dalam skala lab. Salah satunya adalah pemanfaatan kandungan senyawa bioaktif, seperti limonen, untuk minyak esensial (Mahato *et al.*, 2019).

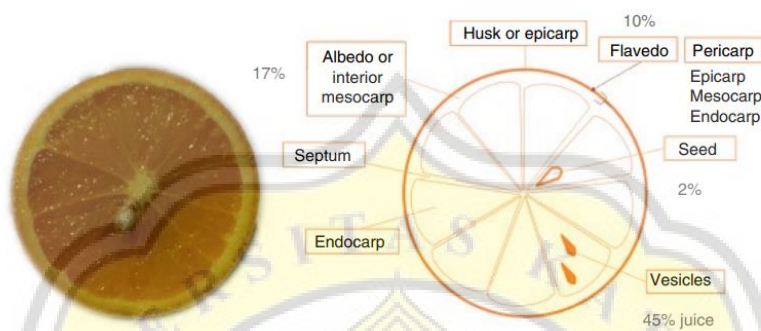
Kehilangan dan limbah buah jeruk menarik untuk dikaji dari perspektif pengurangan dampak lingkungan dan pemanfaatan potensinya untuk menghasilkan produk bernilai tambah tinggi. Upaya valorisasi limbah buah jeruk sudah banyak dilakukan oleh peneliti di berbagai negara. Untuk itu diperlukan sebuah *review* yang sistematis tentang berbagai aspek dari upaya valorisasi tersebut, seperti kelayakan teknologi dan peluang aplikasinya.

1.2. Tinjauan Pustaka

1.2.1. Jeruk

Jeruk termasuk dalam komoditas buah non klimaterik yang tidak dapat mengalami proses pematangan setelah dipisahkan dari tanaman induknya (Fuentes *et al.*, 2019). Buah jeruk merupakan salah satu jenis buah yang paling banyak dikonsumsi dikarenakan adanya sejumlah manfaat kesehatan dan kandungan nutrisi (Satari & Karimi, 2018), seperti vitamin C, A, dan B, mineral, serat, senyawa fenol, berbagai fitokimia (karotenoid dan limonoid), dan flavonoid (khususnya *polymethoxy flavones*) (Chavan *et al.*, 2018). Jeruk berasal dari genus *Citrus L.* dan famili Rutaceae yang meliputi *Citrus tangerine*, *Citrus paradisi* (Panwar *et al.*, 2021), *Citrus sinensis*, *Citrus reticulata*, *Citrus aurantifolia*, *Citrus limon*, *Citrus*

bergamia, *Citrus junos*, *Citrus japonica* (Bora *et al.*, 2020), selain itu terdapat beberapa varietas lokal buah jeruk yang hanya tumbuh di negara tertentu seperti Indonesia, yang meliputi *Citrus reticulata*, *Citrus microcarpa* L., *Citrus sinensis* L., dan *Citrus maxima* Herr. Buah jeruk tersebut terbagi atas beberapa bagian yang membentuk buah jeruk, bagian tersebut terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagian-Bagian Buah Jeruk (Fernández-Fernández *et al.*, 2020)

Melalui Gambar 2. diketahui bagian-bagian penyusun buah jeruk, yaitu 45% air, 26% rag dan *pulp*, 17% albedo, 10% flavedo, serta 2% biji yang digunakan dalam pembuatan jus jeruk, selai, dan jeli. Sebanyak 40-60% hasil produksi buah jeruk digunakan dalam industri jus jeruk, hal ini menjadikan jus sebagai produk utama dalam pengolahan buah jeruk (Eryildiz *et al.*, 2020). Pada pengolahan jus jeruk secara umum digunakan sebanyak satu per tiga bagian yang didominasi bagian daging (González-Miquel & Díaz, 2020) sehingga bagian lain dari buah jeruk cenderung menjadi limbah pangan.

1.2.2. Keberadaan Limbah Buah Jeruk

Keberadaan limbah buah jeruk dibedakan berdasarkan kuantitas dan kualitasnya. Keberadaan limbah buah jeruk dari segi kuantitas merupakan pengurangan massa dan volume pangan yang dapat dikonsumsi, sedangkan dari segi kualitas diartikan sebagai berkurangnya pangan yang dapat dikonsumsi dilihat dari sifat fisikokimia maupun karakteristik organoleptik (Nicastro & Carillo, 2021). Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, bahwa kehilangan bahan pangan dan limbah makanan dapat digolongkan sebagai limbah pangan. Dari aspek kuantitas secara umum, sebelum pemanenan dihasilkan limbah sebesar 10-20% yang disebabkan adanya pembusukan dan serangga, sementara itu

setelah proses pemanenan limbah buah jeruk diprediksi sebesar 32,4% di tingkat petani, 19,6% saat pemetikan, 3,5% saat pengemasan, 2,2,% saat pembawaan produk, dan 7,1% saat distribusi serta transportasi (Mahawar *et al.*, 2020). Menurut data BAPPENAS (2021) di Indonesia, banyaknya kehilangan dan limbah khusus untuk tanaman pangan mencapai 46%, dimana diantara tanaman pangan ini terdapat komoditas buah-buahan dengan jumlah kehilangan dan limbah mencapai 20%. Lebih jelasnya, untuk komoditas buah jeruk kehilangan dan limbah total sebesar 34% yang terbagi atas 13% ditingkat produksi dan pasca panen, 10% ditingkat penanganan dan penyimpanan, 4% ditingkat pemrosesan dan pengemasan, serta 7% ditingkat distribusi (Hanif & Ashari, 2021).

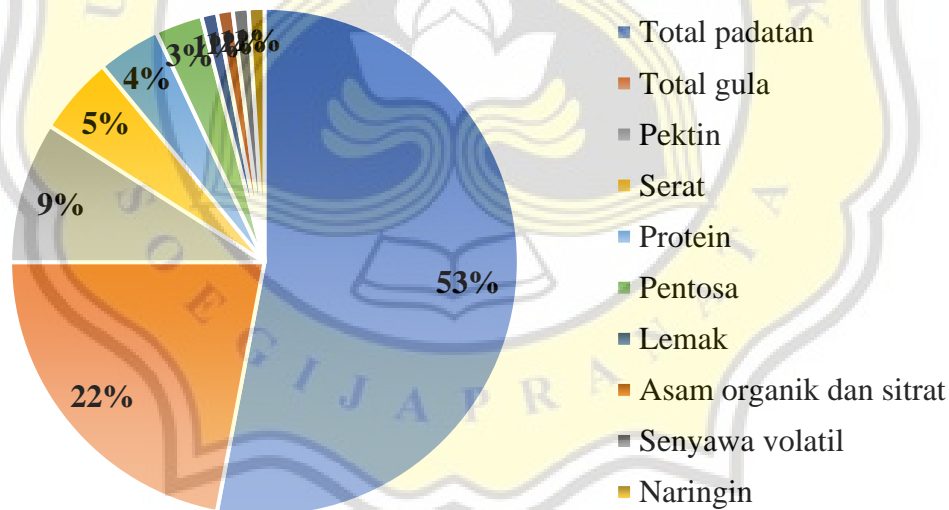
Chavan *et al* (2018) menyatakan dari 50% limbah buah jeruk yang dihasilkan, 45% diantaranya merupakan limbah padat sedangkan 5% sisanya merupakan limbah cair. Selama proses pemrosesan hingga konsumsi, limbah buah jeruk yang dihasilkan tersusun atas 40-55% kulit jeruk, 30-35% jaringan internal, dan 10% biji (Zema *et al.*, 2018). Menurut Panwar *et al* (2021) pada tahun 2016 dihasilkan sebanyak 124 juta ton buah jeruk dimana 23,54 juta ton diantaranya diproses sehingga menghasilkan 50-60% limbah yang berupa kulit, biji, ampas, dan *stones*. Dari beberapa negara penghasil buah jeruk terbesar didunia, Amerika, Brazil, dan Spanyol, per tahunnya dihasilkan buah jeruk sebanyak 31,2 juta metrik ton yang kemudian menghasilkan limbah sejumlah 15,6 juta metrik ton (Cecilia *et al.*, 2019). Secara lebih spesifik, pada tahun 2018 banyaknya limbah kulit jeruk yang dihasilkan mampu mencapai 24 204.988 t.a⁻¹ (RedCorn *et al.*, 2018).

Limbah buah jeruk yang dihasilkan tidak hanya berupa limbah padat, namun juga limbah cair dengan jumlah mencapai 500 juta m³ pada tahun 2017, jumlah ini terus mengalami kenaikan pada tahun-tahun berikutnya hingga mencapai lebih dari 750 juta m³ (Zema *et al.*, 2019). Dari segi kualitas, berdasarkan studi kasus yang dilakukan pada salah satu industri buah jeruk di Inggris, *Chingford Fruit Ltd*, jeruk yang tidak lolos proses sortasi visual dibedakan menjadi 2 kelompok; pertama *uneatable waste* yang merupakan kelompok buah jeruk yang rusak dan sudah terkontaminasi mikroorganisme sehingga tidak cocok untuk dikonsumsi kembali; dan yang terakhir adalah kelompok *class-2-waste* merupakan golongan

buah jeruk dengan adanya cacat pada warna dan kulit sehingga jeruk golongan ini masih dapat dikonsumsi dan biasanya dijual pada pasar grosir (Garcia-Garcia *et al.*, 2019).

Limbah buah jeruk yang dihasilkan memiliki karakteristik dan kandungan berbagai senyawa kimia maupun zat gizi. Karakteristik yang dimiliki limbah padat buah jeruk, diantaranya pH asam (pH 3-4) serta adanya kandungan senyawa organik (95% dari total padatan) dan kadar air (dapat mencapai 90%) yang tinggi (González-Miquel & Díaz, 2020). Di sisi lain karakteristik limbah cair hasil pemrosesan buah jeruk, meliputi adanya senyawa organik, padatan tersuspensi, dan minyak esensial yang tinggi. pH yang terdapat pada limbah cair buah jeruk cenderung rendah (kurang dari 3), unsur hara yang tidak seimbang, dan tingginya nilai COD (1.000-10.000 mg/L) (Corsino *et al.*, 2021).

Sementara itu kandungan berbagai senyawa kimia dan zat gizi pada limbah buah jeruk bagian inti, membran, dan kulit dapat ditemukan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kandungan Senyawa Kimia dan Zat Gizi Limbah Buah Jeruk

Diadaptasi dari Mahato *et al* (2019)

Berdasarkan Gambar 3. senyawa kimia dan zat gizi pada bagian inti, membran, dan kulit buah jeruk terdiri atas 53% total padatan, 22% total gula, 9% pektin, 5% serat, 4% protein,

3% pentosa, dan 1% lemak, asam organik dan sitrat, senyawa volatil, serta naringin. Lebih lengkapnya berdasarkan Panwar *et al* (2021) limbah buah jeruk mengandung gula (glukosa, fruktosa, dan sukrosa), karbohidrat (selulosa, pati, pektin, dan serat), asam organik (asam sitrat, malat, dan oksalat), lemak (asam linoleat, oleat, palmitat, dan stearat), pigmen (karoten dan lutein), vitamin (C dan B kompleks), dan berbagai polifenol (flavonoid dan asam fenolik) yang berkontribusi terhadap kemampuan limbah buah jeruk sebagai antioksidan (Liew *et al.*, 2018). Sebagian besar senyawa tersebut dapat digolongkan sebagai senyawa bioaktif yang merupakan suatu konstituen dengan tambahan nilai gizi, senyawa ini ditemukan dalam jumlah kecil pada pangan yang mampu memberikan manfaat kesehatan diluar gizi dasar dari suatu produk (Hamzalioglu & Gökmen, 2016). Karakteristik dan kandungan senyawa bioaktif tersebut mampu memberikan dampak, baik pada limbah itu sendiri maupun selama proses pengolahannya.

1.2.3. Dampak Lingkungan

Berbagai karakteristik yang dimiliki oleh limbah buah jeruk dapat berdampak negatif apabila tidak adanya proses penanganan limbah yang sesuai. Menurut Bátori *et al* (2017) limbah buah jeruk memiliki konsentrasi yang tinggi pada air (80-90%) dan senyawa organik (95% dari total padatan), di sisi lain pH pada limbah tersebut juga tergolong asam dengan rentang nilai 3-4. Karakteristik-karakteristik tersebut selain dapat menyebabkan polusi, juga dapat menimbulkan potensi masalah kesehatan (Chavan *et al.*, 2018) ditambah lagi metode penanganan limbah konvensional, seperti penimbunan tidak cocok diaplikasikan pada jenis limbah tersebut yang didukung pula oleh peraturan EU *Waste Framework Directive* 2008/98/EC (Patsalou *et al.*, 2019).

Penimbunan limbah buah jeruk menyebabkan terjadinya kebocoran limbah dan bau tidak sedap yang mengundang serangga untuk mendekat (Eryildiz *et al.*, 2020). Bau yang tidak sedap ini diakibatkan tingginya kandungan air dan senyawa organik sehingga limbah mudah terfermentasi dan membusuk, hasil dari pembusukan menyebabkan timbulnya gas metana (CH₄) (Cecilia *et al.*, 2019). Faktor lain yang menyebabkan limbah buah jeruk tidak cocok untuk ditimbun berdasarkan Mahato *et al* (2019) adalah kandungan nitrogen yang terdapat

pada limbah berada dibawah konsentrasi 0,14% yang menyebabkan komponen nitrogen tersebut tidak dapat mendukung proses dekomposisi oleh mikroba. Meskipun begitu, terdapat metode konvensional lain yang dapat digunakan, seperti insenerasi, hanya saja metode tersebut memerlukan biaya dan energi yang cukup tinggi sehingga dianggap tidak efisien (Panwar *et al.*, 2021). Oleh karena itu diperlukan adanya metode valorisasi limbah buah jeruk yang tidak hanya sesuai dengan karakteristik limbah, namun juga berfungsi mengurangi dampak lingkungan.

1.2.4. Valorisasi

Valorisasi diartikan sebagai suatu upaya penyelamatan dan transformasi limbah untuk menghasilkan suatu produk dengan adanya peningkatan nilai (Foong *et al.*, 2020). Proses valorisasi tidak hanya bertujuan untuk mengurangi jumlah limbah, namun juga mengurangi dampak limbah tersebut pada lingkungan (Ranganathan *et al.*, 2020). Berikut ini terdapat berbagai macam produk hasil valorisasi limbah buah jeruk yang pada umumnya diproduksi, diantaranya karotenoid, pektin, minyak esensial, dan pengemas.

1.2.4.1. Karotenoid

Karotenoid merupakan senyawa yang memiliki kemampuan sebagai antioksidan dan kandungan pro vitamin A, selain itu senyawa ini bertanggung jawab terhadap warna dari buah jeruk dan merupakan bagian dari senyawa alami (Zema *et al.*, 2018) yang biasanya terdapat pada kulit dan biji. Mayoritas karotenoid yang terdapat pada bagian kulit (Mahato *et al.*, 2019), terdiri atas α -karoten, β -karoten, lutein, zeaxanthin, dan β -kriptosantin, dengan β -karoten sebagai salah satu jenis karotenoid yang paling dominan (Putnik *et al.*, 2017). Senyawa karotenoid tersebut perlu diekstrak terlebih dahulu sebelum dimanfaatkan sebagai pewarna alami.

Ekstraksi karotenoid dapat dilakukan menggunakan metode konvensional dan non konvensional. Ekstraksi konvensional dilakukan dengan memanfaatkan penggunaan pelarut, sedangkan ekstraksi non konvensional, terdiri atas *microwave assisted extraction*, *ultrasound assisted extraction*, *pulse electric field*, *supercritical CO₂*, dan hidrolisis

enzimatik. Menurut Satari & Karimi (2018) metode *supercritical CO₂* dan hidrolisis enzimatik merupakan 2 jenis metode ekstraksi yang paling efisien dan ramah lingkungan dibandingkan metode non konvensional lainnya.

1.2.4.2. Pektin

Pektin termasuk dalam kelompok heteropolisakarida yang terbentuk melalui ikatan linear α -1,4 asam D-galakturonat (Zema *et al.*, 2019) yang banyak terdapat pada dinding sel produk buah maupun sayuran. Pektin dapat bertindak sebagai hidrokoloid yang mampu memerangkap air dan membentuk gel pada konsentrasi yang rendah (Satari & Karimi, 2018) sehingga pada umumnya dimanfaatkan sebagai pengental, *emulsifier*, *stabilizer*, dan pembentuk tekstur (Putnik *et al.*, 2017). Salah satu sumber ideal yang dapat digunakan pada proses produksi pektin adalah limbah buah jeruk. Pada limbah jeruk terkandung sebanyak 37/100 gram selulosa, 11/100 gram hemiselulosa, 7/100 gram lignin, dan 23/100 gram pektin (González-Miquel & Díaz, 2020).

Pektin berbahan dasar limbah buah jeruk didapatkan melalui proses ekstraksi. Pada umumnya bagian limbah buah jeruk yang digunakan adalah kulit. Secara konvensional, proses ekstraksi pektin dilakukan dengan merebus kulit jeruk pada suhu 60-100°C untuk kemudian diasamkan dengan menggunakan mineral maupun asam organik (Chavan *et al.*, 2018), sedangkan dalam skala industri pektin pada umumnya didapatkan melalui proses ekstraksi dengan menggunakan asam (asam klorida, sulfat, dan nitrat) dan asam organik (asam sitrat) pada suhu kurang lebih 100°C untuk mendapatkan ekstrak yang lebih banyak (Panwar *et al.*, 2021). Untuk pemanfaatan yang lebih luas, ekstrak pektin juga dapat dihasilkan dengan menggunakan *microwave assisted extraction* sebagai salah satu metode ekstraksi non konvensional dengan ekstrak mencapai 27,58% pada parameter optimum (Mahawar *et al.*, 2020).

1.2.4.3. Minyak Esensial

Minyak esensial merupakan kelompok senyawa volatil aromatik yang diproduksi oleh beberapa jenis tanaman (Putnik *et al.*, 2017). Minyak pada limbah buah jeruk, khususnya

bagian kulit, dapat digolongkan sebagai minyak esensial. Hal ini disebabkan adanya kandungan senyawa volatil, seperti *terpenic hydrocarbon* (monoterpen (limonen) dan sekuiterpen) bersama dengan turunan yang sudah teroksigenasi (alkohol, keton, aldehida, dan ester) dalam jumlah besar (Panwar *et al.*, 2021). Sebanyak 5,4 minyak per mg biomassa didapatkan melalui pemanfaatan limbah kulit buah jeruk, dimana minyak esensial tersebut didominasi dengan kandungan D-limonen kurang lebih sebesar 90-98% (Zema *et al.*, 2018), Minyak esensial tersebut memiliki kemampuan sebagai antioksidan, antibakteri (Dewi, 2019), antimikroba (Campos *et al.*, 2020), dan antiinflamatori sehingga dimanfaatkan sebagai bahan tambahan pangan, pengawet, maupun sebagai bahan pada industri farmasi dan kosmetik (Mahawar *et al.*, 2020).

Pada umumnya minyak esensial limbah kulit jeruk diekstrak dengan menggunakan metode distilasi uap dan *cold pressing*, dilihat dari sisi ekonomi metode distilasi lebih baik dibandingkan *cold pressing* (Mahato *et al.*, 2019). Namun, menurut Putnik *et al* (2017) metode *cold pressing* dapat mempertahankan kandungan fenolik dan kemampuan sebagai antioksidan lebih baik dibandingkan metode distilasi uap. Selain itu saat ini sudah mulai dikembangkan berbagai metode ekstraksi non konvensional, seperti *ultrasound assisted extraction* (UAE), *microwave assisted extraction* (MAE), *supercritical fluid extraction* (SFE), dan *subcritical water extraction* (SWE) (González-Miquel & Díaz, 2020). Beberapa metode ekstraksi terbaru tersebut dianggap lebih cepat, ramah lingkungan, efektif, dan efisien (Chavan *et al.*, 2018).

1.2.4.4. Pengemas

Adanya kandungan pektin pada limbah buah jeruk dirasa cocok dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan *biofilm*. Hal ini disebabkan pektin merupakan sumber daya yang dapat diperbarui, didegradasi, dan *biocompatible* (Gurram *et al.*, 2018). *Pectin-cellulose biofilm* merupakan jenis *biofilm* yang mampu didegradasi, pengemas jenis tersebut diproduksi menggunakan metode *casting* dengan menggantung serat selulosa dan hemiselulosa pada larutan pektin untuk selanjutnya dikeringkan menggunakan 2 jenis pengeringan (inkubator dan oven) (Bátori *et al.*, 2017).

Film berbahan baku limbah kulit buah jeruk juga dapat diproduksi melalui proses pemanggangan pada suhu 70 hingga 80°C selama 8 sampai 10 jam. Limbah yang sudah kering tersebut kemudian di hancurkan dengan kecepatan 25000 putaran/menit sembari dicampur dengan resin urea-formaldehida dengan proporsi 7:3 untuk selanjutnya ditempatkan pada cetakan ekstruksi panas sehingga dihasilkan pelat yang mampu didegradasi (Chavan *et al.*, 2018). Kulit buah jeruk yang sudah berbentuk bubuk dapat dijadikan sebagai *film* antimikroba dengan menggantikan sebanyak 46% plastik dalam penggunaannya. Pemanfaatan limbah kulit jeruk dalam bentuk bubuk dirasa lebih efektif dikarenakan tidak memerlukan proses ekstraksi sehingga dapat menghemat biaya dan waktu serta mempertahankan fungsi antimikroba dalam limbah kulit jeruk (McKay *et al.*, 2021).

Selain itu, jenis pengemas lain berupa *food grade kraft paper* dapat diberikan perlakuan dengan menggunakan ekstrak kulit buah jeruk untuk meningkatkan kemampuan penghalang air tanpa harus kehilangan kemampuannya secara mekanik (Chavan *et al.*, 2018). *Food grade kraft paper* yang diberikan perlakuan dengan penambahan limbah kulit jeruk memiliki *water vapor permeability*, *peroxide value*, dan transmisi udara yang lebih rendah dibandingkan *original paper* (Al-Dalali, 2019) sehingga dapat meningkatkan stabilitas dalam menjaga produk dari oksidasi oleh oksigen yang mampu menurunkan umur simpan dari produk pangan (Kasaai & Moosavi, 2017).

1.2.5. Tantangan dan Peluang

Proses valorisasi limbah buah jeruk menjadi suatu produk yang memiliki peningkatan nilai bukanlah perkara yang mudah, dalam prosesnya tentu ditemukan adanya berbagai tantangan yang menyertai serta peluang untuk mengatasinya. Berikut ini beberapa uraian terkait tantangan dan peluang selama proses valorisasi limbah buah jeruk, diantaranya selama proses pembuatan pewarna alami terdapat senyawa karotenoid yang tergolong sebagai senyawa yang tidak stabil, tidak larut dalam air, serta memiliki bioavailabilitas yang rendah (Mahato *et al.*, 2018). Proses ekstraksi senyawa karotenoid juga dianggap sebagai proses yang lama dikarenakan adanya dinding sel yang rigid dan kompleks (Panwar *et al.*, 2021).