

4. PEMBAHASAN

4.1. Keberadaan Literatur

Keberadaan mengenai literatur yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh melalui proses studi literatur awal dan utama yang sudah dilakukan. Total sebanyak 72 literatur berhasil didapatkan, literatur tersebut sudah disesuaikan dengan berbagai kriteria inklusi dan eksklusi yang sudah ditetapkan. Sebaran tahun penerbitan dari 72 literatur ditunjukkan pada Gambar 10. dengan rentang tahun 2016 hingga 2021. Melalui gambar tersebut didapatkan jumlah literatur yang fluktuatif, mengalami kenaikan dari tahun 2016 hingga 2017 dan 2018 hingga 2019. Selain itu terjadi pula kecenderungan penurunan *trend* dari tahun 2019 hingga 2021 dengan puncak di tahun 2019, hal ini menandakan adanya perkembangan ilmu dalam topik kehilangan dan limbah pada produk buah jeruk, khususnya di tahun 2019. Perkembangan ilmu tersebut diiringi dengan meningkatnya perhatian masyarakat pada kehilangan dan limbah pangan selama dekade terakhir yang mana hal ini memiliki pengaruh dari segi lingkungan, ekonomi, kelangkaan pangan, kemiskinan, dan sumber pangan alami (Ishangulyyev *et al.*, 2019).

Setelah dikelompokkan berdasarkan tahun, melalui Gambar 11. dan 12. diketahui jenis literatur dan artikel jurnal yang digunakan. Sebanyak 72 literatur yang didapatkan mayoritas terdiri atas artikel jurnal *research*, sedangkan artikel jurnal *review* sebagai literatur sekunder dikecualikan dalam studi literatur utama untuk menghindari risiko terjadinya bias dan kesalahan (Allen, 2020), namun masih dapat digunakan sebagai bagian pendahuluan terutama latar belakang dan penentuan topik serta tujuan penelitian maupun pembahasan.

Bahasa yang digunakan pada artikel jurnal tersebut didominasi oleh bahasa Inggris (64 artikel jurnal) sehingga tergolong sebagai artikel jurnal internasional dengan ranking yang didasarkan pada SJR (*SCImago Journal Rank*). Sebaliknya artikel jurnal berbahasa Indonesia memiliki jumlah terkecil yang disebabkan adanya kesulitan dalam mendapatkan artikel jurnal berbahasa Indonesia yang membahas bahan dan produk terkait pangan sebagai hasil

pengolahan limbah buah jeruk bernilai tinggi dengan potensi sebagai pangan fungsional. Di sisi lain ranking dari artikel jurnal yang diperoleh sebagian besar adalah SINTA S4 dan S5 yang tidak sesuai dengan kriteria ranking yang sudah ditentukan. Berdasarkan Gambar 13. Scopus Q1 memiliki jumlah terbesar diantara ranking artikel jurnal yang menandakan reputasi dan kredibilitas terbaik dalam bidang penelitian yang diteliti (Vijayan & Renjith, 2021).

Setelah melalui proses penyaringan, pengelompokan, dan penelaahan isi tersisa 69 dari 72 literatur yang dapat digunakan sebagai data akhir dalam proses pemetaan. Hal ini disebabkan terdapat 3 literatur yang tidak dapat digunakan sebagai data tunggal dalam proses pemetaan yang dilakukan. Sama halnya dengan literatur lain diluar 69 literatur yang sudah didapatkan, selain tidak sesuai dengan data yang diinginkan, informasi pada literatur tersebut hanya cocok dijadikan sebagai data pendukung dalam pembahasan. Isi dari artikel jurnal dan buku yang diperoleh sebagian besar berkaitan dengan keberadaan dan status valorisasi limbah buah jeruk yang disebabkan beragamnya bahan dan produk terkait pangan yang mampu dihasilkan melalui berbagai macam metode dan bagian limbah, berbanding terbalik dengan parameter tantangan dan peluang yang cukup sulit ditemukan termasuk dalam literatur yang sama dengan kedua parameter sebelumnya sehingga pembatasan jumlah literatur antar parameter juga diperlukan untuk memastikan keseimbangan sumber dan substansi yang diperoleh.

Dalam *review* literatur mengenai topik kehilangan dan limbah dengan produk buah jeruk tidak dilakukan pembatasan pada varietas, hal ini dikarenakan pada sebagian besar artikel jurnal dan buku hanya dijelaskan mengenai kehilangan dan limbah buah jeruk secara umum, tidak spesifik untuk varietas tertentu. Di sisi lain tidak semua varietas tumbuh secara global dan memiliki bahasan mengenai kehilangan dan limbah beserta 4 parameter utama (keberadaan, status valorisasi, tantangan, dan peluang). Oleh karena pembatasan varietas justru menyebabkan keterbatasan pada literatur dan pembahasannya.

4.2. Keberadaan Limbah Buah Jeruk

Produksi pangan berupa akar, umbi, buah, serta sayur menempati posisi tertinggi dengan persentase sebesar 40-50% (Berjan *et al.*, 2018). Secara lebih spesifik untuk buah jeruk, berdasarkan data UNCTAD selama pertengahan tahun 2000 diperoleh konsumsi buah jeruk segar di negara berkembang sebanyak 12 kg per tahun sementara itu konsumsi buah jeruk segar di negara maju, tampak lebih banyak, mencapai 30 kg per tahun dimana jumlah ini belum termasuk dengan konsumsi buah jeruk dalam bentuk produk olahan (El-Otmani *et al.*, 2011).

Konsumsi buah jeruk dengan jumlah besar tentunya berkontribusi pula terhadap banyaknya limbah yang dihasilkan. Umumnya limbah buah jeruk dihasilkan melalui proses industri, buah yang dibuang dengan alasan komersial (buah yang rusak), dan buah yang dibuang karena peraturan yang membatasi jumlah produksi (Köse & Bayraktar, 2018). Menurut Raak *et al* (2017), pada industri pangan terdapat 3 hal utama yang berkontribusi dalam proses produksi limbah, meliputi produk yang rusak dan membusuk selama distribusi dan transportasi, produk samping yang dihasilkan selama proses pengolahan bahan pangan menjadi suatu produk, dan persepsi konsumen terhadap kualitas dan keamanan pangan. Untuk buah jeruk, mayoritas limbah dihasilkan melalui produk samping hasil pengolahannya menjadi produk jus, selai, *marmalade*, maupun saus (Sabanci *et al.*, 2021).

Banyaknya limbah sebagai produk samping buah jeruk yang dihasilkan ditinjau pada Tabel 4. Selama pasca panen, kehilangan dari buah jeruk mencapai 30-35% yang disebabkan karena adanya praktek panen dan pasca panen yang buruk (Ahmad *et al.*, 2018), khususnya selama transportasi, penyimpanan, pemrosesan, serta penyakit pada tanaman (Tozlu *et al.*, 2019). Menurut El-Otmani *et al* (2011) penyakit pada tanaman sebagian besar disebabkan oleh mikroorganisme patogen, seperti *Penicillium italicum* Wehmer. dan *Penicillium digitatum* Sacc. Di sisi lain, melalui tabel tersebut diketahui pula selama proses konsumsi dan pemrosesan buah jeruk dihasilkan 50-60% limbah padat dari total massa buah jeruk (Di Donna *et al.*, 2020; Eryildiz *et al.*, 2020; Gurram *et al.*, 2018; Sharma *et al.*, 2019) yang terdiri atas kulit, ampas, rag, dan biji (Heydari *et al.*, 2021). Dimana mayoritas limbah

tersebut dihasilkan selama proses pengolahan buah jeruk menjadi jus jeruk (Bátori *et al.*, 2017). Selain limbah padat dihasilkan pula limbah cair yang didapatkan melalui proses pencucian buah dan peralatan serta ekstraksi *juice* dan minyak esensial (Corsino *et al.*, 2021; Guzmán *et al.*, 2016). Banyaknya limbah cair buah jeruk yang dihasilkan per harinya mencapai 10 juta liter untuk setiap 25 ton buah jeruk yang diproses per jamnya (Corsino *et al.*, 2018).

Melalui Gambar 14. diketahui dari 5 bagian limbah buah jeruk yang pada umumnya dihasilkan, limbah padat berupa kulit dan biji merupakan 2 jenis limbah buah jeruk dengan sebaran terbesar, sedangkan limbah cair merupakan jenis limbah jeruk dengan sebaran terkecil. Besarnya sebaran ini dikarenakan bagian kulit dan biji merupakan 2 bagian utama dari limbah buah jeruk. Hal ini didukung oleh pernyataan Torquato *et al* (2017) bahwa persentase limbah buah jeruk yang dihasilkan, terbagi atas 60-65% kulit, 30-35% membran, dan 10% biji. Spesifiknya, selama pemrosesan 121 juta ton jeruk dihasilkan limbah sebanyak 25 juta ton (Patsalou *et al.*, 2019). Dari segi jumlah, banyaknya limbah cair yang dihasilkan tidak kalah dengan limbah padat buah jeruk. Di tahun 2017, limbah cair yang dihasilkan mampu mencapai 500 juta m³ dan mengalami peningkatan hingga kurang lebih 750 juta m³ ditahun berikutnya (Zema *et al.*, 2019). Hanya saja keberadaan limbah cair tersebut seringkali tidak diperhitungkan sehingga menghasilkan sebaran yang rendah. Berbagai jenis limbah tersebut dalam keadaan normal tidak dikonsumsi sehingga tergolong sebagai *non avoidable food waste* (Boschini *et al.*, 2018). Untuk limbah pangan secara umum, bagian yang tergolong sebagai *non avoidable food waste* secara keseluruhan menempati persentase sebesar 20% dari total limbah yang dihasilkan (Painter *et al.*, 2016).

Berdasarkan Tabel. 4. baik pada kulit, biji, ampas, *rag*, maupun limbah cair diketahui kandungan senyawa bioaktif dan karakteristik tidak berbeda jauh antar jenisnya. Seperti yang sudah diketahui sebelumnya bahwa senyawa bioaktif merupakan senyawa pada pangan yang hadir dalam jumlah kecil, senyawa ini mampu memberikan manfaat kesehatan diluar nutrisi dasar (Santos *et al.*, 2019). Senyawa bioaktif tersebut meliputi minyak esensial, karotenoid, pektin, senyawa fenolik, gula larut, flavonoid, protein, abu, lemak, asam (organik dan

amino), mineral, serat pangan, vitamin, dan tokoferol (Baaka *et al.*, 2017; Bátori *et al.*, 2017; Fernández-Fernández *et al.*, 2020; Garrido *et al.*, 2019). Pada limbah cair buah jeruk didapatkan kandungan yang tinggi dari senyawa organik, padatan tersuspensi, dan pH berkisar 3 (Corsino *et al.*, 2018; Rosas-Mendoza *et al.*, 2020) dengan nilai *biological oxygen demand* (BOD) serta *chemical oxygen demand* (COD) (1.000-10.000 mg/L) yang tinggi. Diketahui pula kandungan unsur hara pada limbah cair buah jeruk, meliputi nitrogen, fosfor, flavonoid dan heteropolisakarida (Guzmán *et al.*, 2016) cenderung tidak seimbang. Ketidakseimbangan kandungan unsur hara, menurut Corsino *et al.* (2021), diakibatkan berkurangnya jumlah nitrogen dan fosfor. Jumlah nitrogen yang berkurang mengakibatkan mikroorganisme, seperti bakteri, tidak dapat melakukan proses dekomposisi. Sementara itu limbah padat (kulit, biji, ampas, dan rag) buah jeruk memiliki pH dengan rentang 3-5 serta tinggi kandungan senyawa organik (95% dari total padatan) dan kandungan air (mencapai 90%) (González-Miquel & Díaz, 2020; Rosas-Mendoza *et al.*, 2020).

Karakteristik pH asam serta tingginya kadar air dan senyawa organik menyebabkan limbah buah jeruk mudah mengalami fermentasi dan pembusukan sehingga menimbulkan bau yang menarik serangga untuk mendekat yang berakibat pada timbulnya polusi udara, tanah, maupun air (Ogundare & Olukanni, 2020). Kandungan gula dan pH asam pada limbah buah jeruk juga menimbulkan dampak negatif dengan dihasilkannya ragi dan jamur (Singla *et al.*, 2021) serta timbulnya risiko korosi (Torquato *et al.*, 2017). Tingginya nilai *chemical oxygen demand* (COD) menandakan rendahnya kadar oksigen di dalam air (Di Donna *et al.*, 2020) yang menyebabkan gangguan pada ekosistem perairan. Uraian tersebut memperlihatkan apabila limbah buah jeruk merupakan jenis limbah yang tidak cocok untuk ditangani melalui pembuangan secara langsung dan penimbunan. Proses penimbunan membutuhkan biaya penanganan yang tergolong tinggi serta adanya potensi kebocoran limbah dan pembentukan metana sebagai salah satu gas berbahaya bagi lingkungan (Tlais *et al.*, 2020).

Oleh karena itu dibutuhkan proses pemanfaatan untuk mengolah limbah buah jeruk menjadi suatu produk, hanya saja pengolahan dengan metode konvensional menjadi produk pakan ternak maupun kompos dianggap tidak bernilai. Seperti yang sudah diketahui apabila

terdapat kandungan senyawa bioaktif pada limbah buah jeruk. Senyawa ini memiliki potensi pengembangan menjadi bahan maupun produk dengan adanya peningkatan nilai.

bernilai tinggi, seperti pangan fungsional. Hal ini sesuai dengan pernyataan dari *European Food Information Council* bahwa produk pangan fungsional merupakan produk yang setidaknya mengandung komponen aktif biologis dengan potensinya dalam meningkatkan kesehatan, baik fisik maupun mental, dan tentunya memiliki peluang dalam pencegahan penyakit (Daliri & Lee, 2015).

4.3. Status Valorisasi Limbah Buah Jeruk

Berdasarkan uraian keberadaan limbah buah jeruk, didapatkan bahwa limbah buah jeruk merupakan limbah yang tergolong murah dan berlimpah (Baaka *et al.*, 2017). Limbah buah jeruk yang dapat divalorisasikan adalah limbah dengan kualitas kandungan nutrisi dan senyawa bioaktif yang masih baik dan layak untuk diolah kembali (Nieto *et al.*, 2021). Adanya kandungan senyawa bioaktif menyebabkan timbulnya potensi pemanfaatan menjadi bahan dan produk terkait pangan bernilai tinggi dengan potensi salah satunya sebagai pangan fungsional. Dalam penelitian *review* literatur ini yang dimaksud dengan bahan dan produk terkait pangan yang bernilai tinggi adalah suatu bahan maupun produk yang memiliki manfaat, khususnya pada bidang berkaitan dengan pangan dengan harga yang setidaknya sama atau lebih tinggi dibandingkan saat pangan tersebut belum menjadi limbah.

Salah satu jenis bahan dan produk bernilai tinggi tersebut adalah produk pangan fungsional dimana menurut *European Food Information Council*, pangan fungsional merupakan produk yang setidaknya mengandung komponen aktif biologis dengan potensinya dalam meningkatkan kesehatan, baik fisik maupun mental, dan tentunya memiliki peluang dalam pencegahan penyakit (Daliri & Lee, 2015). Seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan maka kesadaran masyarakat akan pentingnya manfaat kesehatan dari pangan bernutrisi untuk pencegahan penyakit dan peningkatan imun juga mengalami perkembangan, hal ini menyebabkan terjadinya peningkatan penerimaan konsumen terhadap pangan

fungsional dan nutrisinya (Galanakis, 2017) yang berakibat pada pertumbuhan pesat di sektor pasar pangan fungsional dan nutrasetikal (Daliri & Lee, 2015).

Berkaitan dengan hal tersebut, melalui Tabel 5. ditunjukkan sejumlah hal mengenai status valorisasi limbah buah jeruk menjadi bahan dan produk terkait pangan yang bernilai tinggi dengan potensi fungsional. Mengacu tabel tersebut, selama proses valorisasi tentunya dibutuhkan bahan baku berupa bagian dari limbah buah jeruk yang perlu dimanfaatkan. Berdasarkan Gambar 15. bagian kulit jeruk merupakan bagian dengan hasil sebaran terbesar, sebaliknya hasil sebaran terkecil didapatkan oleh limbah cair buah jeruk yang menandakan proses valorisasi limbah buah jeruk sebagian besar memanfaatkan bagian kulit untuk menghasilkan produk, hal ini sesuai dengan uraian sebelumnya dimana keberadaan limbah buah jeruk juga didominasi dengan bagian kulit. Begitu pula dengan Shu *et al* (2020) yang menyatakan bahwa kulit merupakan limbah utama dalam pemrosesan buah jeruk dengan persentase sebesar 20-40% dari total berat basah buah. Selain itu, besarnya limbah kulit jeruk yang dihasilkan pada tahun 2018 mampu mencapai $24.204.988 \text{ t.a}^{-1}$ (RedCorn *et al.*, 2018).

Berbagai bagian buah jeruk tersebut (kulit, biji, dan limbah cair) selanjutnya diproses menjadi bahan dan produk terkait pangan dengan potensi fungsional yang ditunjukkan pada Gambar 16., dimana sebaran terbesar untuk bahan dan produk hasil valorisasi tersebut dimiliki oleh produk pengemas dan minyak (esensial dan biji jeruk), yang kemudian diikuti dengan produk pektin. Hal ini didukung pula oleh pernyataan Jeong *et al* (2021) bahwa produk minyak dan pektin merupakan 2 produk valorisasi limbah buah jeruk yang paling dikenal sehingga tidak mengherankan apabila hasil valorisasi limbah buah jeruk didominasi oleh kedua produk tersebut, hanya saja dalam implementasinya pada industri saat ini ketiga produk tersebut masih tergolong sebagai produk dengan volume produksi yang rendah, namun bernilai tinggi (Joglekar *et al.*, 2019). Sama halnya juga pada produk valorisasi lainnya, seperti cuka, polifenol, asam suksinat, enkapsulat, nanoliposom, nanoselulosa, dan enzim pektinolitik, selain memiliki volume produksi yang rendah, produk-produk tersebut tergolong sebagai produk baru yang masih dipertimbangkan dan belum dikenal luas penggunaannya sehingga sebaran yang didapatkan juga relatif kecil.

Implementasi produk hasil valorisasi, khususnya minyak, pektin, dan pengemas, dalam skala besar untuk saat ini memang belum ada, namun terdapat potensi pengembangan dengan berbagai persyaratan yang wajib terpenuhi. Pada produk minyak, khususnya minyak esensial, kualitas produk dalam skala besar terkait erat dengan adanya aroma spesifik yang mampu dipertahankan (Russo *et al.*, 2012). Kualitas produk ini bergantung pada asal, jenis, tanah, iklim, varietas limbah buah jeruk, hingga proses pengolahan yang memiliki pengaruh terbesar. Umumnya varietas limbah buah jeruk yang dimanfaatkan kembali menjadi produk minyak esensial, diantaranya jeruk manis, *bitter orange*, lemon, *grapefruit*, bergamot, dan mandarin (Osman, 2019).

Dalam implementasi produk pektin berbahan baku limbah buah jeruk dengan produksi skala industri, diperlukan pektin dengan stabilitas dan dispersibilitas yang stabil (Chu *et al.*, 2022). Sementara itu pada produk pengemas, baik yang terbuat ataupun difortifikasi dengan limbah buah jeruk, masih dibutuhkan perlakuan lain maupun penambahan senyawa tertentu untuk meningkatkan resistensi pengemas limbah buah jeruk terhadap panas, *barrier*, dan sifat mekanik (Bayram *et al.*, 2021), hal ini mengingat bahwa tujuan dari pengemas itu sendiri adalah melindungi pangan dari suhu kelembaban, cahaya, bau, dan mikroorganisme sehingga dapat mencegah pangan dari kemungkinan degradasi dan pembusukan (D. Kumar *et al.*, 2018). Oleh karena itu peningkatan pada beberapa komponen pengemas tersebut perlu dilakukan.

Bahan dan produk terkait pangan bernilai tinggi dengan potensi sebagai pangan fungsional tersebut dihasilkan melalui berbagai metode pengolahan dimana metode ekstraksi merupakan metode yang mendominasi (Tabel 5.). Jenis metode ekstraksi, terdiri atas metode konvensional (hidrodistilasi, pelarut, maserasi, padat cair sederhana) dan non konvensional (*ultrasound assisted extraction*, dan *supercritical CO₂*). Menurut Rocchetti *et al* (2019) ekstraksi konvensional merupakan ekstraksi yang memanfaatkan penggunaan pelarut dalam kondisi prosesnya, baik dengan perlakuan panas maupun tidak, namun penggunaan ekstraksi jenis ini memiliki kekurangan berupa rendahnya efisiensi dan tingginya pelarut yang

digunakan; ekstraksi non konvensional merupakan ekstraksi yang digunakan dengan memanfaatkan energi tertentu untuk meningkatkan efisiensi ekstraksi, pemanfaatan metode ini mampu meningkatkan efisiensi ekstraksi dalam hal biaya, hasil, maupun waktu.

Dalam penelitian ini, mayoritas jenis ekstraksi yang digunakan adalah ekstraksi konvensional yang tidak terlepas dari penggunaan pelarut. Jenis pelarut yang berbeda juga berpengaruh pada hasil ekstraksi yang disebabkan adanya perbedaan polaritas pelarut sehingga terjadi perbedaan variasi jumlah senyawa yang terekstrak (Truong *et al.*, 2019). Etanol merupakan jenis pelarut yang umumnya digunakan. Menurut Y. Li *et al* (2019) etanol tergolong sebagai pelarut yang paling tidak beracun dibandingkan jenis pelarut lainnya, hal ini menjadikan etanol sebagai pelarut yang populer setelah air untuk penggunaan pada produk industri dan konsumen. Selain itu, etanol bersama dengan heksana, aseton, dan etil asetat tergolong sebagai pelarut yang sudah mendapatkan status GRAS (*Generally Recognize As Safe*) (Singla *et al.*, 2021). Selama proses ekstraksi digunakan pula metanol sebagai salah satu pelarut. Penggunaan metanol sebagai pelarut mampu menghasilkan ekstrak dengan jumlah dan hasil yang baik, namun pelarut ini tergolong toksik (Liew *et al.*, 2018). Pernyataan tersebut didukung pula oleh Nekoukar *et al* (2021) yang menyatakan metanol adalah alkohol dengan sifat toksik yang biasanya berfungsi sebagai pelarut. Menurut Singla *et al* (2021) metanol bukan merupakan pelarut *food grade* dan tidak termasuk dalam kategori GRAS (*Generally Recognize As Safe*).

Selain ekstraksi konvensional, pada tabel pemetaan didapatkan pula pemanfaatan metode ekstraksi dengan menggunakan *ultrasound assisted extraction* dan *supercritical CO₂*. Kedua jenis ekstraksi ini tergolong sebagai metode non konvensional atau sering disebut dengan *green extraction* (Picot-Allain *et al.*, 2021). Metode ekstraksi *supercritical CO₂* bersama dengan enkapsulasi termasuk kedalam teknologi baru untuk menghasilkan produk pangan fungsional, penggunaan metode enkapsulasi memiliki potensi meningkatkan kemampuan proteksi senyawa bioaktif pada produk pangan sehingga konsumen mampu mendapatkan manfaat kesehatan yang maksimal (Sanguansri & Ann Augustin, 2010; Srinivas & King, 2010). Dalam proses enkapsulasi digunakan *coating agent* yang berguna untuk

mengkapsulasi senyawa yang diinginkan serta memberikan perlindungan terhadap senyawa tersebut dari kondisi lingkungan yang tidak diinginkan, jenis *coating agent* yang umumnya digunakan, terdiri atas gum alami (alginat, karagenan, dan *gum arabic*), protein (gelatin dan *whey*), karbohidrat (maltodextrin), dan lemak (*emulsifier*) (Ghosh *et al.*, 2021). Selama proses enkapsulasi dengan bahan berupa limbah buah jeruk, *coating agent* yang digunakan berupa maltodextrin dan campurannya dengan protein kedelai serta τ -*carrageenan* (Papoutsis *et al.*, 2018).

Penggunaan jenis metode valorisasi lainnya dan kondisi proses yang menyertai belum tentu sama antar bahan dan produk terkait pangan fungsional yang ingin didapatkan. Untuk produk yang sama pun tidak jarang memiliki lebih dari satu metode produksi sehingga dalam praktiknya, penggunaan metode dan kondisi proses tersebut disesuaikan dengan karakteristik bahan, produk, dan hasil yang ingin didapat.

4.4. Tantangan

Melalui uraian sebelumnya sudah dijelaskan mengenai status valorisasi limbah buah jeruk yang meliputi bagian limbah yang menjadi bahan baku, metode, kondisi proses, dan produknya. Berbagai metode dan kondisi proses dimanfaatkan untuk menghasilkan bahan dan produk yang didominasi oleh pengemas, minyak (esensial dan biji jeruk) serta pektin, hanya saja proses valorisasi limbah buah jeruk menjadi bahan dan produk terkait pangan dengan potensi fungsional bukanlah perkara yang mudah. Beberapa tantangan mulai ditemukan selama proses yang terdiri atas perubahan sensori dan atribut rasa pada produk akhir (penerimaan konsumen), biaya produksi, hingga karakteristik metode yang dapat menghambat proses produksi khususnya dalam skala besar (Lafarga & Hayes, 2017), dimana tantangan terkait penerimaan konsumen terhadap produk menjadi tantangan utama selama proses valorisasi limbah buah jeruk (Panghal *et al.*, 2018).

Berbagai tantangan tersebut ditunjukkan pada Tabel 6. Untuk mempermudah pembahasan maka isi pada tabel tantangan selama proses valorisasi limbah buah jeruk diurutkan berdasarkan tantangan paling umum hingga terberat. Tantangan yang berkaitan dengan

bahan dan proses pengolahan merupakan tantangan pertama dan umum ada selama proses valorisasi. Metode ekstraksi konvensional hidrodistilasi berpotensi menyebabkan dampak buruk pada lingkungan (Bustamante *et al.*, 2016; Santiago *et al.*, 2020). Hal ini didukung pula oleh Jadhav *et al.* (2021) yang menyatakan hidrodistilasi merupakan metode tradisional yang memerlukan waktu yang lama, energi yang besar, dan adanya potensi terjadinya kerusakan komponen senyawa volatil. Penggunaan metode ini juga dianggap tidak ekonomis dikarenakan kebutuhan bahan bakar yang besar untuk memanaskan minyak. Besarnya kebutuhan energi menyebabkan dampak buruk bagi lingkungan (Solanki *et al.*, 2020).

Pektin berbahan baku kulit jeruk yang diproduksi menggunakan suhu tinggi dan durasi proses yang terlalu lama mengakibatkan penurunan sifat dan kualitas pektin. Pernyataan tersebut sesuai dengan Fakayode & Abobi (2018) bahwa waktu ekstraksi yang terlalu lama mengakibatkan penurunan kadar pektin begitu pula dengan waktu ekstraksi, hal ini disebabkan terjadinya degradasi termal pada pektin. Pada proses pengeringan akhir menggunakan *spray dryer* dalam proses produksi *debittered food grade orange fiber* tidak dilakukan pengontrolan suhu (Caggia *et al.*, 2020). Konjugasi antara lignin dan hemiselulosa pada kulit jeruk yang berfungsi sebagai agen perlindungan pada dinding sel (Zhao *et al.*, 2019) menyebabkan selulosa sukar terisolasi dalam proses produksi nanoselulosa limbah kulit jeruk (Naz *et al.*, 2016).

Selama proses produksi asam suksinat yang berasal dari kulit jeruk, terjadinya pembentukan produk samping menyebabkan penurunan jumlah asam suksinat yang dihasilkan (Patsalou *et al.*, 2020). Penggunaan suhu tinggi pada metode *spray drying* menyebabkan potensi terjadinya degradasi pada senyawa polifenol sehingga menyebabkan penurunan nilai dan konsentrasi antioksidan dari polifenol limbah kulit jeruk yang dihasilkan (Papoutsis *et al.*, 2018). Penggunaan metode ekstraksi konvensional maserasi memiliki beberapa kelemahan, diantaranya penggunaan suhu tinggi, rendahnya efisiensi dan kadar polifenol yang dihasilkan, konsentrasi pelarut yang tinggi, dan masalah kesehatan (Safdar *et al.*, 2017).

Ketidakstabilan dan sensitivitas senyawa limonen, karotenoid, dan polifenol, khususnya pada kulit buah jeruk, juga menjadi tantangan selama proses. Degradasi pada senyawa limonen terjadi karena sifat limonen yang sensitif terhadap paparan cahaya dan panas (Ozturk *et al.*, 2019). Degradasi tersebut mengakibatkan penurunan kualitas sensori dan efektivitas kerja secara biologis (Kfoury *et al.*, 2019). Sesuai dengan pernyataan Ma *et al.* (2020) bahwa paparan suhu tinggi pada limonen mampu menyebabkan dekomposisi pada cincin senyawa aromatik, seperti *xylene*, *trimethylbenzene*, dan *cymene*. Selain limonen, karotenoid dan polifenol juga sensitif terhadap cahaya, panas, dan oksigen (Baaka *et al.*, 2017; Ndayishimiye & Chun, 2017; Papoutsis *et al.*, 2018).

Paparan cahaya pada senyawa karotenoid menyebabkan hasil *light fastness* yang buruk (Baaka *et al.*, 2017). Selain paparan cahaya, panas dan oksigen mampu menyebabkan degradasi termal dan oksidasi pada senyawa karotenoid (Ndayishimiye & Chun, 2017). Adanya perpanjangan konjugasi ikatan rangkap pada struktur molekul menjadi alasan mengapa senyawa karotenoid cenderung sensitif, labil, dan rentan terhadap degradasi panas maupun cahaya (Singh *et al.*, 2021). Menurut Sun *et al.* (2020) ketidakstabilan karotenoid juga disebabkan oleh rantai poliena yang kaya akan elektron. Sistem yang kaya elektron ini mengakibatkan karotenoid sangat tidak stabil terhadap oksidasi sehingga rentan terhadap serangan senyawa elektrofilik (Ribeiro *et al.*, 2018). Sementara itu, sensitivitas pada senyawa polifenol disebabkan karena adanya ikatan tidak jenuh pada struktur molekul (Papoutsis *et al.*, 2018) sehingga terjadi perubahan struktur dan aktivitas biologis (Deng *et al.*, 2018) yang berakibat timbulnya proses degradasi.

Pada proses pembuatan *composite film*, bahan PLA yang digunakan tidak kompatibel terhadap PBAT yang menyebabkan munculnya tekstur kasar pada permukaan dan tidak tersebar partikel PBAT pada media PLA, masalah ini ada karena terdapatnya unit berulang pada resin PBAT yang lebih panjang dan fleksibel daripada PLA serta perbedaan kelarutan diantara keduanya (Shankar & Rhim, 2018). *Freeze thaw stress* selama proses produksi nanoliposom biji jeruk menyebabkan ketidakstabilan sistem berupa terjadinya difusi kristal es kedalam membran liposom sehingga timbul gangguan pada vesikel dan

kebocoran senyawa yang termuat di dalamnya yang berakibat penurunan efisiensi proses enkapsulasi secara signifikan (Stark *et al.*, 2010).

Tantangan selanjutnya merupakan tantangan utama sekaligus terberat yang berkaitan dengan penerimaan produk pada konsumen. Hal ini menurut Topolska *et al* (2021) disebabkan karena kesuksesan jangka panjang dari bahan dan produk terkait pangan yang merupakan hasil valorisasi limbah buah jeruk dengan potensi fungsional bergantung pada penerimaan konsumen, yang meliputi efek terhadap kesehatan, sensori, dan keamanan pangan. Masalah pertama terkait penerimaan konsumen pada bahan dan produk hasil valorisasi limbah buah jeruk, yaitu tidak terdapatnya aktivitas antimikroba pada produk kontrol PLA/PBAT *composite film* dan *edible coating* kitosan, hal ini wajar dikarenakan pada produk kontrol belum terdapat tambahan senyawa bioaktif yang mampu memberikan kemampuan sebagai antimikroba pada pengemas tersebut dan pada umumnya pengemas tidak memiliki aktivitas antimikroba.

Tantangan lain yang mempengaruhi penerimaan produk, diantaranya munculnya rasa pahit pada beberapa produk, seperti minyak biji jeruk, antioksidan alami kulit jeruk, dan serat biji jeruk. Rasa pahit pada produk serat dan minyak berbahan dasar biji buah jeruk disebabkan karena adanya kandungan senyawa flavonoid pada bahan baku (Yilmaz & Karaman, 2017) yang masuk dan larut selama proses pengepresan. Terdapat 2 jenis flavonoid yang dapat menyebabkan rasa pahit pada produk, yaitu naringin dan neohesperidin yang keberadaannya tidak dapat dihindari sebagai akibat adanya kontaminasi selama ekstraksi maupun masuk secara alami sebagai senyawa bawaan dari limbah buah jeruk (Jagannath & Kumar, 2016). Pada naringin dan neohesperidin terkandung senyawa neohesperidose (*rhamnosyl- α -1,2-glucose*) yang berkontribusi terhadap rasa pahit pada bagian limbah buah jeruk (Koolaji *et al.*, 2020). Pada olahan kulit jeruk menjadi antioksidan terdapat senyawa lain yang dapat menyebabkan rasa pahit, yaitu tanin (Czech *et al.*, 2021). Menurut Molino *et al* (2020) *astringency* dipengaruhi oleh struktur dan derajat polimerisasi tanin yang disebabkan struktur dengan berat molekul yang tinggi cenderung mendukung interaksi dengan protein saliva,

sedangkan rasa pahit disebabkan karena adanya pola kombinatorial dari aktivasi TAS2R yang merupakan reseptor terhadap rasa pahit.

Limonen merupakan senyawa terpen yang banyak terkandung dalam limbah kulit jeruk dan menjadi komponen utama dalam produk minyak esensial (Negro *et al.*, 2017). Terdapat 90% limonen pada minyak esensial yang mewakili 2-3 berat kering kulit jeruk (Lotito *et al.*, 2018). Kandungan limonen pada minyak esensial hasil valorisasi limbah kulit jeruk inilah yang menyebabkan produk tersebut memiliki potensi toksisitas dan alergi (Santiago *et al.*, 2020; Su *et al.*, 2016) yang berhubungan dengan aspek keamanan. Efek-efek tersebut menurut Lis-Balchin (2005) disebabkan karena adanya pemalsuan pada minyak esensial maupun faktor usia, dimana bayi, anak-anak, dan orang tua termasuk dalam golongan rentan. Pada usia lanjut limonen dapat menyebabkan dermatitis kontak alergi yang disebabkan adanya *psolaren*, *furancoumarins*, dan hidroperoksida (Dittmar & Schuttelaar, 2019). *Furancoumarins* merupakan metabolit sekunder yang biasanya dihasilkan oleh tumbuhan tingkat tinggi (Hung *et al.*, 2017), *furancoumarins* dapat menyebabkan efek negatif karena adanya interaksi antara paparan sinar ultraviolet dan gangguan sitotoksik maupun mutagenik. Bahkan pada minyak esensial limbah jeruk yang sudah berlabel *furancoumarin-free* masih memiliki kemungkinan sebagai agen karsinogen. Sementara itu hidroperoksida yang merupakan hasil autoksidasi limonen dan linalool juga memiliki potensi sebagai alergen (Dittmar & Schuttelaar, 2019). Efek alergi ini semakin meningkat dengan semakin tingginya paparan terhadap udara dan konsentrasi limonen yang kontak terhadap kulit sehingga mampu menyebabkan iritasi dan ruam (Ravichandran *et al.*, 2018).

4.5. Peluang

Berbagai tantangan selama proses valorisasi limbah buah jeruk menjadi bahan dan produk bernilai tinggi dengan potensinya sebagai pangan fungsional yang tersaji pada poin 4.4. diatasi melalui berbagai peluang perbaikan yang ditunjukkan oleh Tabel 7. Pada tabel ini dijelaskan pula kandungan senyawa bioaktif dan manfaatnya di beberapa produk hasil valorisasi yang bertujuan untuk menunjukkan potensi produk tersebut sebagai produk yang memiliki nilai lebih dan tentunya bermanfaat. Pembahasan mengenai peluang dimulai dengan peningkatan efisiensi selama proses dimana penggunaan energi matahari dan *microwave* digunakan sebagai energi alternatif selama proses ekstraksi hidrodistilasi. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Bustamante *et al* (2016) aplikasi energi *microwave* dalam hidrodistilasi memberikan hasil ekstrak minyak esensial kulit jeruk yang sama dengan metode hidrodistilasi konvensional bahkan mampu mengekstrak senyawa kimia lainnya, seperti γ -terpinene dan α -bergamotene sehingga memberikan nilai lebih pada ekstrak yang dihasilkan.

Selain itu energi *microwave* merupakan metode yang cepat, mampu meningkatkan aktivitas biologis (Mollaei *et al.*, 2019), hemat biaya dan energi, serta mengurangi dampak buruk bagi lingkungan karena sedikitnya karbon dioksida yang dihasilkan ke lingkungan (Elyemni *et al.*, 2019). Sama seperti sebelumnya, penggunaan energi matahari selama proses ekstraksi hidrodistilasi menghasilkan minyak esensial dengan konsentrasi yang tidak jauh berbeda dengan metode konvensional, namun pemrosesan berjalan dalam waktu yang lebih cepat dan hemat energi, selain itu dari sisi industri penggunaan hidrodistilasi dengan energi matahari mampu memberikan *payback period* dalam jangka waktu 2 tahun dan tidak membutuhkan biaya tambahan (Hilali *et al.*, 2019).

Ohmic heating assisted extraction process merupakan salah satu metode alternatif selama proses produksi pektin yang mampu meningkatkan nilai pektin seiring dengan meningkatnya *holding time* (Sabanci *et al.*, 2021). Keuntungan lain yang diperoleh dengan pengaplikasian metode ini, diantaranya kontrol suhu yang mudah melalui tombol *on* dan *off* serta rendahnya kebutuhan energi dengan nilai *specific pectin production coefficient* (SPPC) yang tinggi

dikarenakan adanya penurunan rasio padatan dan cairan (Çilingir *et al.*, 2021). Hal ini didukung pula oleh Kuriya *et al* (2020) yang mengaplikasikan metode *ohmic heating* pada produk *dairy dessert* dengan flavor *blueberry* dimana semakin tingginya intensitas medan listrik ($9,1 \text{ V cm}^{-1}$) maka konsumsi energi yang dihasilkan menjadi lebih rendah, selain itu beban termal selama proses menjadi lebih rendah seiring dengan meningkatnya laju pemanasan sehingga degradasi senyawa termosensitif dapat berkurang.

Selain digunakan secara langsung, produk pektin yang berasal dari kulit jeruk juga memiliki peluang pemanfaatan lain sebagai bahan baku dalam proses produksi *pectic oligosaccharide*. Tidak hanya pektin yang berasal dari kulit jeruk, namun produk ini juga dapat dihasilkan melalui pengolahan limbah cair pengalengan buah jeruk (J. Li *et al.*, 2019). *Pectic oligosaccharide* memiliki potensi sebagai prebiotik yang dibuktikan dengan adanya nilai aktivitas prebiotik yang tinggi terhadap *Bifidobacterium bifidum* ATCC 29521 pada penelitian yang dilakukan oleh Zhang *et al* (2018). Menurut Wilkowska *et al* (2019), dalam penelitiannya, bahwa kemampuan hidrolisat sebagai prebiotik mengalami peningkatan seiring dengan meningkatkan konsentrasi oligosakarida yang ditambahkan (derajat polimerisasi dengan rentang 7 hingga 10) hal ini memicu terjadinya perubahan jumlah bakteri pada usus dan sifat asam lemak rantai pendek yang dihasilkan. Asam lemak rantai pendek merupakan modulasi mikrobial usus yang memberikan manfaat kesehatan.

Pembatasan suhu dan kelembaban selama proses produksi *decaffeinated food grade orange fiber* merupakan suatu proses yang krusial. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Marey & Shoughy (2016) selama proses pengeringan khususnya pada kondisi kelembaban yang tinggi diperoleh suhu optimal pengeringan sebesar $50-60^{\circ}\text{C}$. Pada suhu ini kandungan senyawa bioaktif dapat terjaga, selain itu dilakukan juga pembatasan kadar kelembaban pada produk menjadi 10% dengan tujuan perpanjangan umur simpan. Suhu pengeringan yang terlalu tinggi memicu potensi terjadinya degradasi termal, kimia, dan enzimatis pada senyawa bioaktif sehingga perlu dilakukan kontrol (López-Vidaña *et al.*, 2017). Sedangkan pembatasan kadar kelembaban juga diperlukan, seperti pada penelitian yang dilakukan Papoutsis *et al* (2018) bahwa kadar air dibawah 0,6 menghasilkan produk yang stabil secara

mikrobal dan enzimatis. Pada produk serat ini terkandung serat tidak larut dan serat pangan dengan manfaat pada kesehatan saluran pencernaan manusia (Caggia *et al.*, 2020; Singla *et al.*, 2021). Serat pangan tidak larut merupakan serat yang tidak dapat larut dalam air dan lewat dengan mudah pada saluran pencernaan sehingga memiliki fungsi untuk mencegah sembelit dan wasir (Bader Ul Ain *et al.*, 2019). Menurut Veronese *et al* (2018) serat pangan memiliki fungsi yang penting pada sistem modulasi kekebalan tubuh serta mempengaruhi penyakit kardiovaskular maupun risiko kanker.

Lignin dan hemiselulosa yang menjadi tantangan selama pembuatan nanoselulosa kulit jeruk diatasi dengan perlakuan menggunakan HCl dan H₂SO₄ pada rasio berbeda, perlakuan ini menyebabkan perpendekan rantai selulosa (Naz *et al.*, 2016). Efisiensi produksi polifenol limbah kulit jeruk ditingkatkan melalui penggunaan metode alternatif *ultrasound assisted extraction* dengan rentang suhu dan waktu yang tergolong rendah, yaitu 35-55°C dalam waktu 40-70 menit sehingga terjadi peningkatan total ekstrak senyawa polifenol yang dihasilkan (Safdar *et al.*, 2017). Serupa dengan Soquetta *et al* (2018) teknologi *ultrasound assisted extraction* tergolong sebagai *green technology* yang hanya memerlukan sedikit energi dengan stabilitas hasil ekstraksi yang dapat dipertahankan.

Produksi asam suksinat limbah kulit jeruk ditingkatkan dengan dilakukan penambahan vitamin sebagai kombinasi suplementasi hidrolisat kulit jeruk bersama dengan *corn steep liquor* (Patsalou *et al.*, 2020). Didukung pula oleh D. N. Putri *et al* (2020) bahwa suplementasi hidrolisat sel *yeast* mampu meningkatkan pertumbuhan sel dan konsumsi gula sehingga hasil asam suksinat juga mengalami peningkatan (D. N. Putri *et al.*, 2020). Hasil penggunaan teknologi pengeringan *freeze drying* lebih baik dibandingkan *spray drying* selama proses produksi enkapsulat yang terbuat dari kulit dan membran buah jeruk (Papoutsis *et al.*, 2018), hal ini berkaitan dengan retensi terhadap senyawa antioksidan dan polifenol yang didukung pula oleh pernyataan González-Ortega *et al* (2020) dimana teknologi *freeze drying* mampu menghasilkan produk dengan degradasi termal dan oksidasi yang lebih rendah serta efisiensi yang lebih tinggi sehingga hasil yang didapat juga jauh lebih banyak (Wilkowska *et al.*, 2016).

Konsentrasi dan aktivitas antioksidan dari ekstrak karotenoid yang berfungsi sebagai pewarna alami kulit jeruk ditingkatkan dengan memanfaatkan penggunaan pelarut alternatif *ionic liquid*, melalui penggunaan jenis pelarut ini stabilitas termal juga mengalami peningkatan yang ditandai melalui pembentukan *micellar* menggunakan mikroemulsi *non aqueous* yang stabil dengan permukaan anionik rantai ganda aktif (Murador *et al.*, 2019). Kondisi proses menentukan kestabilan nanoemulsi β -karoten untuk mempertahankan karakteristik awal seiring dengan meratanya sebaran globula pada sistem kontinu. Beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk mendapatkan hasil nanoemulsi yang stabil diantaranya, konsentrasi surfaktan, lama dan kecepatan agitasi, suhu, jenis minyak, dan rasio air maupun minyak (Moreira *et al.*, 2019). Diameter droplet produk emulsi berada pada rentang 20 dan 200 nm (Barman *et al.*, 2020), semakin kecil ukuran droplet maka bioavailabilitas juga akan meningkat. Pengurangan rasio padatan cairan dalam proses ekstraksi mampu meningkatkan ekstrak karotenoid yang dihasilkan, hal ini disebabkan adanya peningkatan koefisien difusivitas pada matriks yang memungkinkan terjadinya peningkatan solubilitas pewarna dan konsentrasi gradien diantara pelarut dan matrik sehingga dapat memfasilitasi transfer karotenoid ke lingkungan (Ordóñez-Santos *et al.*, 2021)

Sementara itu stabilitas nanoliposom limbah biji jeruk mengalami peningkatan seiring dengan pemberian *coating* dikarenakan adanya penurunan kemampuan kristal es untuk melakukan proses difusi ke membran vesikel sehingga mampu mencegah proses destruksi (Mazloomi *et al.*, 2020). Pada produk nanoliposom terdapat fitokimia dan *nutraceutical* yang mampu menargetkan muatan hidrofilik dan hidrofobik secara simultan (Mazloomi *et al.*, 2020). Senyawa brutieridin dan melitidin pada produk cuka limbah cair buah jeruk berfungsi sebagai anti kolesterol (Di Donna *et al.*, 2020), hal ini sesuai dengan pernyataan (Tsiokanos *et al.*, 2021) apabila brutieridin dan melitidin tergolong sebagai flavonoid yang merupakan 3-hidroksi-3-metilglutarik dengan kemampuan membatasi proses sintesis kolesterol terutama di hati.

Di sisi lain, terdapat peluang perbaikan lain dengan tujuan meningkatkan penerimaan konsumen terhadap bahan dan produk terkait pangan bernilai tinggi yang merupakan hasil valorisasi limbah buah jeruk. Untuk meningkatkan penerimaan konsumen terhadap produk PLA/PBAT *composite film* dan *edible coating* kitosan dilakukan dengan penambahan *grapefruit seed extract* kedalam produk pengemas. *Grapefruit seed extract* memiliki kemampuan sebagai antimikroba dan sudah banyak digunakan sebagai pengawet pangan (Kim *et al.*, 2018). *Grapefruit seed extract* termasuk dalam produk yang tidak berbahaya bagi lingkungan, pada konsentrasi yang optimal tidak menyebabkan toksisitas pada hewan dan manusia serta tidak menyebabkan iritasi pada kulit dan mata (Choi, 2017). Penambahan *grapefruit seed extract* pada produk pengemas, seperti *edible coating* dan *composite film* berfungsi sebagai inhibitor terhadap mikroorganisme patogen, seperti *Listeria monocytogenes* dalam rentang waktu 3 dan 9 jam setelah pencampurannya dengan *coating* biopolimer (Shankar & Rhim, 2018). Sama halnya pada penelitian yang dilakukan Won *et al* (2018), penambahan *grapefruit seed extract* pada tomat ceri dengan konsentrasi 0; 0,5; 0,7; dan 1% mampu menginaktivasi bakteri *Salmonella* pada $1 \pm 0,3$; $1,2 \pm 0,3$; $1,6 \pm 0,1$; dan $2 \pm 0,3$ log CFU/tomat ceri sehingga hal ini memungkinkan peluang peningkatan penerimaan konsumen terhadap produk pengemas dengan kemampuannya sebagai antimikroba.

Rasa pahit yang disebabkan oleh senyawa tanin pada produk antioksidan kulit jeruk dan flavonoid pada minyak dan serat biji jeruk direduksi melalui proses *debittering*. *Debittering* dengan menggunakan aseton merupakan metode yang paling efektif diantara perlakuan dengan asam, basa, dan aseton. Proses *debittering* dengan perlakuan menggunakan aseton mampu mengekstraksi senyawa penyebab rasa pahit sebanyak 38% pada *pomace* dan 35% pada ampas tanpa menyebabkan adanya *after taste* setelah perlakuan, sedangkan perlakuan dengan menggunakan asam menyebabkan penurunan pH hingga pada konsentrasi yang tidak dapat diterima, akibatnya ditemukan adanya rasa asam setelah perlakuan yang menurunkan penerimaan dari segi sensori pada produk (Singla *et al.*, 2021). Terdapat metode *debittering* lain dengan menggunakan enzim naringinase ataupun hesperinidase (Yilmaz *et al.*, 2019). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Singla *et al* (2020) perlakuan enzimatik dengan menggunakan enzim naringinase mampu mereduksi senyawa penyebab rasa pahit mencapai

hampir 66,19% (Singla *et al.*, 2020). Sesuai pernyataan Purewal & Sandhu (2021) bahwa *debittering* dengan imobilisasi enzim pada material yang sesuai dapat digunakan berkali-kali, selain itu penggunaan enzim cukup baik untuk mengurangi rasa pahit yang mengakibatkan peningkatan suatu senyawa lain.

Meskipun begitu, pada minyak biji jeruk ditemukan adanya asam lemak tidak jenuh yang terbagi atas 2 kelompok, yaitu *monounsaturated fatty acid* (MUFA) dan *polyunsaturated fatty acid* (PUFA) (Aleksandrova *et al.*, 2018). Kandungan asam lemak jenuh sebesar 25-29%, 23-29% MUFA (*monounsaturated fatty acid*), dan 45-46% PUFA (*polyunsaturated fatty acid*) sehingga diketahui kandungan asam lemak pada minyak biji jeruk didominasi dengan asam lemak tidak jenuh berupa asam linoleat yang berguna sebagai antioksidan, menghambat perkembangan jamur tironase, maupun bahan tambahan dalam pangan dan farmasi (Rosa *et al.*, 2019). Menurut Yang *et al* (2018) MUFA memiliki kemampuan menurunkan kadar kolesterol LDL (*low density lipoprotein*) tanpa memberikan efek pada HDL (*high density lipoprotein*), begitu juga pada PUFA yang mampu menurunkan kadar lemak khususnya penurunan kadar kolesterol plasma. Rantai panjang *polyunsaturated fatty acid* pada umumnya dikonsumsi sebagai pangan fungsional (Bentley-Hewitt *et al.*, 2017).

Hal lain yang dapat mempengaruhi penerimaan konsumen adalah potensi limonen dan hidroperoksida sebagai alergen maupun sifat fototoksik dari *furanocoumarin*. Dikarenakan senyawa-senyawa tersebut tergolong sebagai sesuatu yang tidak terhindarkan maka peluang perbaikan yang dapat dilakukan adalah penetapan batas kontak kulit, pada minyak jeruk bergamot sebesar 0,4% sedangkan pada minyak jeruk manis 1,25% batasan ini tidak termasuk dalam produk bilas serta konsentrasi kombinasi bahan yang mengandung efek fototoksik tidak melebihi 100% (Binder *et al.*, 2016). Walaupun begitu, menurut FDA sebenarnya minyak esensial yang berasal dari jeruk sudah tergolong sebagai *Generally Recognize As Safe* pada konsumsi hewan dan manusia (Burnett *et al.*, 2019) sehingga aman untuk digunakan, namun penggunaannya diharapkan tetap menyesuaikan dengan batas kontak dan dosis. Menurut Miller *et al* (2013) dosis aman dari penggunaan limonen sebagai

salah satu senyawa minyak esensial pada limbah buah jeruk per harinya tidak melebihi 2 gram.

Berdasarkan uraian mengenai tantangan dan peluang selama proses valorisasi limbah buah jeruk menjadi suatu bahan dan produk terkait pangan bernilai tinggi dengan potensinya sebagai pangan fungsional diketahui apabila produk-produk tersebut dapat dikatakan *visible* untuk produksi secara kecil, hanya saja pada produksi skala besar untuk saat ini berbagai produk tersebut tergolong tidak cukup *visible*. Hingga saat ini banyak bahan dan produk hasil valorisasi didapatkan melalui proses ekstraksi, ekstraksi yang digunakan pun merupakan jenis ekstraksi konvensional dengan menggunakan pelarut yang pada produksi skala besar dianggap kurang efektif dan efisien. Sesuai dengan pernyataan Huang *et al* (2020) bahwa penggunaan pelarut dalam proses ekstraksi cenderung mahal dan memiliki efisiensi yang rendah sehingga produk yang diproses melalui proses ekstraksi konvensional dianggap kurang kurang *visible* untuk produksi skala besar.

Sebagai contoh, dalam produksi minyak esensial limbah kulit jeruk. Penggunaan limbah kulit jeruk sebagai bahan baku memang cenderung berlimpah dan murah hanya saja penggunaan bahan baku dalam jumlah besar tidak menghasilkan ekstrak yang sama besarnya dengan bahan baku yang digunakan, hal ini menyebabkan terjadinya pengulangan proses yang membutuhkan lebih banyak biaya, khususnya untuk pelarut, menyebabkan biaya produksi menjadi lebih besar. Biaya produksi yang besar berpengaruh pada harga jual dari produk tersebut. Untuk mengatasinya digunakan berbagai metode non konvensional, namun metode non konvensional ini juga memiliki kelemahan. Menurut (Gavahian *et al.*, 2021) penggunaan metode non konvensional mampu memberikan hasil ekstrak yang lebih banyak dengan derajat esterifikasi yang mampu disesuaikan hanya saja biaya perawatan yang dibutuhkan tergolong tinggi, selain itu dibutuhkan tenaga ahli yang untuk saat ini masih terbatas serta adanya data yang tidak memadai selama proses *upscaling*.

Selain proses valorisasi, terdapat peluang strategi lain untuk mengatasi banyaknya kehilangan dan limbah pangan, khususnya pada produk buah jeruk, yaitu dengan proses

pengecehan dan pengurangan. Pada negara berkembang hal yang perlu dilakukan adalah memperbaiki sistem rantai pangan, hal ini dikarenakan pangan lebih banyak hilang dan terbuang selama proses, yang dapat dilakukan dengan mempersingkat rantai pasok dikarenakan potensi kehilangan akan semakin banyak seiring dengan semakin jauhnya dari unsur pertanian. Sementara itu pada negara maju kehilangan dan limbah pangan lebih banyak terjadi pada tahap konsumsi sehingga cara penanganan terbaik dengan memperbaiki kebiasaan dengan membeli bahan pangan dan makan secukupnya hingga mengembangkan teknologi yang mampu memperpanjang umur simpan produk. Proses pengecehan dan pengurangan kehilangan dan limbah tersebut dapat dilakukan pula melalui perubahan pada sistem pembuangan limbah yang sebelumnya berbentuk linear menjadi sirkuler atau biasa disebut dengan *circular economy* dimana antara proses produksi dan pembuangan saling menyambung. *Circular economy* merupakan suatu sistem yang mengganti konsep pembuangan bahan ataupun barang yang sudah tidak terpakai untuk didaur ulang, digunakan, dan diproses kembali dalam proses produksi hingga konsumsi (Ddiba *et al.*, 2021).

4.6. Status, Tantangan, dan Peluang Valorisasi Limbah Kulit Buah Jeruk

Berdasarkan poin 4.2 dan 4.3 diketahui bahwa kulit jeruk merupakan mayoritas limbah yang dihasilkan dan digunakan selama proses valorisasi. Oleh karena itu dibuatlah ringkasan dalam bentuk tabel (Tabel 8.) yang berfokus pada limbah kulit jeruk sebagai limbah yang paling potensial dalam proses valorisasi menjadi produk bernilai tinggi dengan potensi fungsional. Tabel tersebut berisikan metode, produk, tantangan, dan peluang proses valorisasi limbah kulit jeruk menjadi bahan dan produk terkait pangan dengan potensi fungsional. Sama seperti sebelumnya, ekstraksi konvensional dengan pelarut merupakan metode yang paling banyak digunakan, baik sebagai metode utama maupun pendahuluan. Hal ini dikarenakan banyaknya senyawa bioaktif pada limbah kulit jeruk yang berpotensi sebagai produk pangan fungsional, seperti vitamin C, pektin, serat, minyak esensial, polifenol (Šafranko *et al.*, 2021), dan flavonoid (Reynoso-camacho *et al.*, 2021) perlu untuk diekstrak terlebih dahulu sebelum digunakan secara langsung ataupun lebih lanjut menjadi produk lainnya. Sesuai dengan pernyataan Q. W. Zhang *et al* (2018), ekstraksi merupakan tahapan paling awal untuk memisahkan senyawa bioaktif dari bahan baku secara keseluruhan, dimana

ekstraksi konvensional menggunakan pelarut merupakan metode ekstraksi yang paling banyak digunakan.

Melalui berbagai metode tersebut penggunaan limbah kulit jeruk sebagai bahan baku mampu menghasilkan berbagai bahan dan produk terkait pangan yang bernilai tinggi dengan potensi fungsional. Pengemas, pektin, minyak esensial, dan pengawet alami merupakan mayoritas produk pangan fungsional yang dihasilkan melalui proses valorisasi limbah kulit jeruk. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya walaupun bernilai tinggi, produk-produk ini masih tergolong sebagai produk dengan jumlah produksi yang kecil. Peluang industrialisasinya tentu ada ditambah lagi semakin bertambahnya tahun terjadi pengerucutan pada metode dan produk tertentu, seperti yang terlihat pada tabel rangkuman pemetaan, untuk kulit jeruk metode pengolahan didominasi oleh ekstraksi dan produk didominasi pengemas, minyak esensial, pektin, dan pengawet alami. Pengerucutan pada produk diiringi dengan perkembangan metode yang baru, hanya saja untuk saat ini penggunaan metode tersebut masih terbatas sehingga perlu adanya pertimbangan lebih lanjut mengenai efektivitas dan efisiensinya.

Dalam proses valorisasi limbah kulit jeruk diketahui adanya tantangan yang diharapkan mampu diatasi melalui berbagai peluang perbaikan (Tabel 8.). Tantangan terbesar selama proses valorisasi limbah tersebut ada pada masalah penerimaan konsumen. Didukung pula oleh pernyataan Nazir *et al* (2019) yang menyatakan bahwa penerimaan konsumen merupakan area lain yang menantang dan layak untuk mendapatkan perhatian lebih. Terlebih lagi produk pangan hasil valorisasi limbah buah jeruk merupakan jenis produk yang masih jarang ditemukan konsumen secara umum dan tergolong baru sehingga penerimaan produk menjadi masalah yang krusial. Pada minyak esensial didapatkan adanya potensi alergen dan rasa pahit untuk produk antioksidan. Keduanya diatasi melalui penetapan batas kontak kulit (Burnett *et al.*, 2019) dimana minyak esensial ini juga sudah dikategorikan aman sebagai bahan tambahan pangan dikarenakan adanya status GRAS (*Generally Recognize As Safe*) menurut FDA (*Food and Drug Administration*) serta penggunaan metode *debittering* dengan menggunakan enzim (naringinase dan hesperinidase) (Singla *et al.*, 2020) maupun

solventogenesis (Singla *et al.*, 2021), hanya saja penggunaan metode *enzymatic debittering* dalam skala besar menurut Purewal & Sandhu (2021) tidak disarankan dikarenakan terjadinya peningkatan biaya selama proses.

Tantangan dan peluang lain yang berkaitan dengan proses terutama pada produk mayoritas (pektin, minyak esensial, pengemas, dan pengawet), diantaranya sensitivitas senyawa limonen dan penggunaan metode konvensional (Bustamante *et al.*, 2016; Ozturk *et al.*, 2019; Santiago *et al.*, 2020), masalah tersebut diatasi melalui berbagai energi alternatif yang lebih efisien dari sisi waktu dan tenaga (matahari dan *microwave*) (Bustamante *et al.*, 2016; Hilali *et al.*, 2019). Suhu dan waktu ekstraksi pektin yang terlalu lama menyebabkan penurunan kualitas (Sabanci *et al.*, 2021) sehingga diperlukan metode alternatif untuk meningkatkan kualitas pektin, seperti *ohmic heating assisted extraction* (Sabanci *et al.*, 2021). Menurut Saberian *et al* (2018) pengaplikasian metode ekstraksi *ohmic heating*, khususnya pada gradien voltase yang tinggi (30 V/cm), mampu menghemat energi dan waktu dengan kualitas pektin yang tergolong baik.

