

## IV. PEMBAHASAN

### 4.1. Keberadaan Pustaka

Berdasarkan peringkat atau indeks SCOPUS, pustaka yang digunakan tergolong berkualitas baik karena setengahnya masuk peringkat Q1 (31 artikel) serta sisanya Q2 (22 artikel), Q3 (5 artikel), dan hanya 1 artikel Q4 dengan tambahan 1 artikel SINTA S1. Dalam rentang waktu antara tahun 2016 hingga 2021 jumlah artikel berjenis *research* mengenai valorisasi menggunakan limbah buah mangga dihasilkan lebih banyak daripada artikel berjenis *review*. Hal ini menunjukkan topik valorisasi limbah buah mangga masih merupakan topik kajian yang penting.

Artikel-artikel yang digunakan membahas mengenai keberadaan limbah buah mangga dengan jenis limbah yang dihasilkan, tahapan kehilangan atau limbah pada rantai pasok, penyebab kehilangan atau limbah, kuantitas (ketersediaan) limbah, serta kualitas (karakteristik) limbah. Selain itu, artikel-artikel yang digunakan juga membahas tentang valorisasi limbah buah mangga dengan menjelaskan metode (teknologi) pengolahan limbah dan produk yang dihasilkan. Serta dijelaskan pula tantangan dan peluang yang berasal dari kekurangan dan kelebihan pada metode (teknologi) pengolahan limbah, keamanan pangan, dan penerimaan konsumen.

Limbah pertanian khususnya buah apabila tidak diolah dengan baik dapat memberikan efek buruk bagi lingkungan berupa penurunan kualitas air dan tanah. Sehingga undang-undang di seluruh dunia mengenai penanganan dan pembuangan limbah semakin ketat untuk beberapa waktu terakhir. Salah satu cara yang sering dilakukan adalah melakukan valorisasi dari limbah buah menghasilkan produk bernilai tambah untuk aplikasi potensial dalam penggunaan industri pangan. Manfaat yang dapat dirasakan adalah memperoleh keuntungan secara ekonomi dan dapat memastikan ketahanan pangan yang berkelanjutan (Ben-Othman et al., 2020; Nayak & Bhushan, 2019).

#### 4.2. Keberadaan Limbah

Limbah mangga berasal dari keseluruhan buah mangga, kulit mangga, dan biji mangga yang terbuang sepanjang rantai pasok. Pada tahapan pasca panen dihasilkan limbah berupa keseluruhan buah mangga yang diakibatkan karena kondisi pasca panen yang kurang baik meliputi kondisi iklim dan cuaca; teknik panen dan penanganan; fasilitas pengemasan, penyimpanan, dan transportasi; situasi pasar; serta penyakit dan hama hewan. Jumlah kehilangan keseluruhan buah mangga mencapai 43,35% di Etiopia dan 30% di Indonesia (Kasso & Bekele, 2018; Waryat & Nurawan, 2022).

Pada tahapan pemrosesan dihasilkan limbah berupa kulit dan biji mangga. Industri yang menghasilkan limbah paling banyak adalah industri *wine* dan industri minuman dengan jumlah mencapai 30-50% kulit dan biji mangga (Castro-Vargas et al., 2019). Hal ini sesuai dengan Gómez-Caravaca et al. (2016) dan Ruales et al. (2018) yang menyebutkan, limbah kulit dan biji mangga yang berasal dari tahapan pemrosesan sebesar 35-60% dan 33%.

Selama ini limbah mangga hanya terbuang sia-sia maupun menjadi pakan ternak. Tetapi sebenarnya limbah mangga memiliki komponen yang baik sehingga dapat dimanfaatkan. Secara keseluruhan kulit dan biji mangga memiliki senyawa bioaktif, yaitu fenolik, flavonoid, *isoprenoid* terutama karoten,  $\alpha$ -tokoferol, polifenol, antioksidan, dan sterol (Alañón et al., 2021; Gómez-Caravaca et al., 2016; Marcillo-Parra et al., 2021; Ruales et al., 2018).

Biji mangga mengandung senyawa nutrisi yang terdiri dari karbohidrat, lemak, protein, serat kasar, abu, dan lain-lain (Mutua et al., 2017). Komponen-komponen tersebut dapat dimanfaatkan dengan melakukan valorisasi untuk mengurangi jumlah limbah kulit dan biji mangga. Valorisasi dapat dilakukan dengan menggunakan metode (teknologi) yang efisien dan standar keamanan pangan yang baik sehingga menghasilkan produk bernilai tinggi.

### 4.3. Status Valorisasi

Valorisasi limbah mangga dilakukan dengan memanfaatkan kulit dan biji mangga, kulit mangga, biji mangga, *mango seed coat* (MSC), *mango seed kernel* (MSK), dan *mango pulp waste* (MPW). Metode (teknologi) yang diterapkan dan produk valorisasi yang dihasilkan cukup beragam.

#### 4.3.1. Pangan Fungsional

Pangan fungsional adalah produk pangan yang mengandung bahan baku bermanfaat sehingga memberikan efek positif bagi kesehatan dengan berpenampilan seperti makanan konvensional dan termasuk dalam menu makanan sehari-hari (Topolska et al., 2021). Produk pangan fungsional dihasilkan dengan melakukan valorisasi memanfaatkan kulit mangga, biji mangga, MSK, dan MPW. Limbah kulit mangga pada tahap awal persiapan dilakukan penepungan menjadi bubuk. Secara umum, metode penepungan adalah pengeringan, penggilingan, dan pengayakan.

Terdapat 6 produk pangan fungsional yang diolah dengan limbah kulit mangga. Produk pertama adalah *kefir* yang diolah dengan penambahan 5% bubuk kulit mangga, *kefir grains*, dan susu UHT menggunakan metode fermentasi. Penambahan bubuk kulit mangga dapat meningkatkan sifat antioksidan menjadi lebih baik, meningkatkan pertumbuhan bakteri asam laktat, serta tidak memberikan pengaruh pada pertumbuhan bakteri asam asetat dan khamir (Vicenssuto & de Castro, 2020).

Produk kedua adalah *tortilla chips* yang diolah dengan penambahan 5% dan 10% bubuk kulit mangga, tepung jagung, serta air menggunakan metode pemasakan pada *commercial tortilla roll machine* dan penggorengan. Penambahan bubuk kulit mangga dapat meningkatkan kandungan senyawa fenolik total, aktivitas *radical scavenging*, dan skor kualitas uji sensori karena panelis menyukai perubahan rasanya serta mengurangi indeks glikemik (Mayo-Mayo et al., 2020).

Produk ketiga adalah *pasta* yang diolah dengan penambahan 5%; 10%; 15% bubuk kulit mangga serta *wheat semolina* dan *pearl millet flour* dengan rasio 50:50 menggunakan metode *extruding*. Penambahan 5% bubuk kulit mangga dapat diterima kualitasnya pada segi warna, pemasakan, dan sensori. Penambahan > 5% bubuk kulit mangga dapat meningkatkan kandungan bioaktif tetapi kualitas pada segi pemasakan dan sensori tidak dapat diterima dengan baik. Evaluasi sensori yang dilakukan pada atribut warna, penampilan, tekstur, rasa, dan penerimaan keseluruhan (Jalgaonkar et al., 2018).

Produk keempat adalah roti yang diolah dengan penambahan 1%; 3%; 5%; 10%; 15%; 20% bubuk kulit mangga, tepung terigu, air, ragi, dan bahan lain menggunakan metode *baking*. Penambahan bubuk kulit mangga dapat meningkatkan sifat antioksidan, kadar air, kegelapan warna roti, *hardness*, dan *chewiness* serta mengurangi *starch digestion rate*, *digestion extent*, volume roti, dan *cohesiveness*. Serta penambahan 3% bubuk kulit mangga dapat diterima kualitasnya pada segi fisik dan sensori (Chen et al., 2019; Pathak et al., 2016).

Produk kelima adalah ekstrudat yang diolah dengan penambahan 0-20% bubuk kulit mangga, tepung terigu, dan bahan lain menggunakan metode *extruding*. Penambahan bubuk kulit mangga dapat meningkatkan total serat pangan, protein, total komponen fenolik, dan aktivitas antioksidan serta mengurangi rasio ekspansi pada ekstrudat tetapi untuk uji sensori tetap diterima dengan baik. Evaluasi sensori yang dilakukan pada atribut warna, rasa, tekstur, *after taste*, dan penerimaan keseluruhan (Korkerd et al., 2016).

Produk keenam adalah teh kulit mangga yang diolah dengan melakukan *kneading* dan fermentasi pada kulit mangga, dikeringkan, dan diseduh pada air panas suhu 80-90°C selama 5 menit. *Kneading* dilakukan untuk memberikan efek antioksidan dengan waktu yang paling baik selama 20 menit. Fermentasi dilakukan untuk memberikan efek total fenolik pada teh dengan waktu paling baik selama 15 menit. Hasil uji sensori paling baik teh dengan waktu *kneading* 10 menit dan waktu

fermentasi 15 menit. Evaluasi sensori yang dilakukan pada atribut warna, rasa, dan penerimaan keseluruhan (Nanthachai, 2020).

Limbah biji mangga pada tahap awal persiapan juga dilakukan penepungan menjadi bubuk. Terdapat 1 produk pangan fungsional yang diolah dengan limbah biji mangga, yaitu bubur yang diolah dengan penambahan 31%; 56%; 81% bubuk biji mangga, tepung maizena, dan air menggunakan metode pemasakan tradisional. Penambahan bubuk biji mangga meningkatkan kapasitas antioksidan, kandungan fenolik, protein, lemak, dan mineral (Mandha et al., 2021).

Limbah MSK pada tahap awal persiapan juga dilakukan penepungan menjadi bubuk. Terdapat 5 produk pangan fungsional yang diolah dengan limbah MSK. Produk pertama adalah instan sup yang diolah dengan penambahan 25%; 50%; 100% bubuk MSK, tepung jagung, dan bahan lain menggunakan metode pemasakan tradisional. Penambahan 50% bubuk MSK dapat diterima kualitasnya pada segi sensori dengan umur simpan hingga 2 bulan. Evaluasi sensori yang dilakukan pada atribut penampilan, konsistensi, rasa, warna, aroma, dan penerimaan keseluruhan (Yatnatti & Vijayalakshmi, 2018).

Produk kedua adalah *cake* yang diolah dengan penambahan 10%; 20%; 30%; 40% bubuk MSK, tepung terigu, susu bubuk, *baking powder*, dan bahan lain menggunakan metode *baking*. Penambahan bubuk MSK meningkatkan kandungan serat, abu, lemak, dan energi serta mengurangi kadar air dan protein. Penambahan 20% bubuk MSK dapat diterima kualitasnya pada segi sensori dengan umur simpan 7-10 hari tanpa bahan pengawet. Evaluasi sensori yang dilakukan pada atribut warna, rasa, tekstur, dan penerimaan keseluruhan (Das et al., 2019).

Produk ketiga adalah *cookies* yang diolah dengan penambahan 15%; 25%; 50% bubuk MSK, tepung terigu, air, dan bahan lain menggunakan metode *baking*. Penambahan 25% bubuk MSK meningkatkan sifat fisik dan secara sensori dapat diterima dengan baik. Evaluasi sensori yang dilakukan pada atribut warna,



penampilan, tekstur, rasa, dan penerimaan keseluruhan (Olugbenga O. Awolu et al., 2018). Produk keempat adalah extrudat yang diolah dengan penambahan bubuk MSK dan air menggunakan metode *extruding* dan penggorengan. Penambahan bubuk MSK mengurangi *starch digestibility* serta penggorengan mengubah struktur pati karena terjadi interaksi amilosa-lipid (Patiño-Rodríguez et al., 2021).

Produk kelima adalah roti yang diolah dengan penambahan 5%; 10%; 15%; 20%; 25% bubuk MSK, tepung terigu, air, ragi, dan bahan lain menggunakan metode *baking*. Penambahan < 20% bubuk MSK meningkatkan senyawa nutrisi tetapi secara sensori terjadi pengurangan. Evaluasi sensori yang dilakukan pada atribut penampilan, warna, tekstur, rasa, *mouth feel*, dan penerimaan keseluruhan (Amin et al., 2018). Limbah MPW pada tahap awal persiapan juga dilakukan penepungan menjadi bubuk. Terdapat 1 produk pangan fungsional yang diolah dengan limbah MPW, yaitu *muffin* yang diolah dengan penambahan 10%; 20%; 30% bubuk MPW, tepung terigu, telur, *baking powder*, dan bahan lain menggunakan metode *baking*. Penambahan bubuk MPW meningkatkan nilai gizi karena terdapat kandungan polifenol dan karotenoid (Sudha et al., 2015). Berbagai macam produk pangan fungsional yang telah disebutkan, baru melakukan percobaan dalam skala laboratorium maka dari itu dapat dijadikan skala industri yang dapat menghasilkan keuntungan secara ekonomi.

Berbagai produk pangan fungsional yang telah dijelaskan mengandung bahan tambahan berupa limbah kulit mangga, biji mangga, dan MSK yang memberikan manfaat kesehatan bagi konsumen. Saat ini, industri produk pangan fungsional merupakan industri yang inovatif ditandai dengan pertumbuhan yang dinamis dan banyak produk baru sedang diluncurkan secara berkelanjutan. Banyak manfaat kesehatan yang ditawarkan dari produk pangan fungsional berupa meningkatkan sistem kekebalan tubuh, mengurangi resiko masalah kardiovaskular, osteoporosis, obesitas, dan kanker serta dapat meningkatkan kesehatan. Konsumen tidak hanya memperhatikan manfaat kesehatan yang diperoleh, tetapi sensori merupakan faktor utama yang diperhatikan (Topolska et al., 2021).

### 4.3.2. Senyawa Bioaktif

Senyawa bioaktif adalah kelompok besar mikronutrien non-nutrisi aktif secara biologis yang memiliki sifat protektif dan pencegahan penyakit (Chhikara et al., 2018). Senyawa bioaktif dihasilkan dengan melakukan valorisasi memanfaatkan kulit dan biji mangga, kulit mangga, biji mangga, dan MSK. Limbah kulit dan biji mangga pada tahap awal persiapan dilakukan penepungan menjadi bubuk. Secara umum, metode penepungan adalah pengeringan, penggilingan, dan pengayakan.

Terdapat 3 metode yang dilakukan untuk menghasilkan senyawa bioaktif dari limbah kulit dan biji mangga. Metode pertama, yaitu *homogenizer assisted extraction* (HAE) menghasilkan *mangiferin* dan *hyperoside*. Konsentrasi maksimum *mangiferin* (354,4 mg/kg DW) dan *hyperoside* (258,7 mg/kg DW) dihasilkan dengan parameter konsentrasi etanol/air (67,73% dan 70,11%), rasio sampel/solven (29,33% dan 28,17%), dan waktu (4,47 menit dan 5,00 menit) (Zuin et al., 2020). Metode kedua dan ketiga, yaitu *maceration extraction* (MAC) dan *ultrasound assisted extraction* (UAE) menghasilkan polifenol, flavonoid, dan *mangiferin*. Kondisi optimal UAE adalah 20 menit dan amplitudo 60%. UAE dapat mendeteksi *mangiferin* sedangkan MAC tidak terdeteksi (Borrás-Enríquez et al., 2021).

Limbah kulit mangga pada tahap awal persiapan juga dilakukan penepungan menjadi bubuk. Terdapat 9 metode yang dilakukan untuk menghasilkan senyawa bioaktif dari limbah kulit mangga. Metode pertama, yaitu *ultrasound assisted extraction* (UAE) menghasilkan karotenoid dan polifenol. Karotenoid yang dihasilkan mengandung  *$\beta$ -cryptoxanthin*, *lutein*, dan  *$\beta$ -carotene* (Mercado-Mercado et al., 2018). Polifenol yang dihasilkan menggunakan metode yang lebih efisien dan kandungan polifenol yang lebih tinggi.

Metode kedua, yaitu ekstraksi konvensional menghasilkan polifenol dengan kapasitas antiproliferatif yang berguna untuk menghambat sel kanker usus besar. Polifenol yang dihasilkan dari hidrolisis asam adalah asam galat, etil galat,

*mangiferin*, dan *quercetin*. Sedangkan polifenol yang dihasilkan dari hidrolisis basa hanya asam galat (Pacheco-Ordaz et al., 2018; Velderrain-Rodríguez et al., 2018). Metode ketiga, yaitu *microwave assisted extraction* (MAE) menghasilkan antiproliferatif dan antioksidan. Metode MAE jika dibandingkan dengan ekstraksi konvensional lebih menguntungkan karena jumlah solven lebih sedikit dan hasil ekstraksi lebih banyak (Sánchez-Camargo et al., 2021).

Metode keempat dan kelima, yaitu *soxhlet extraction* (SOX) dan *supercritical fluid extraction* (SFE) menghasilkan antioksidan. SOX dengan etanol memberikan hasil ekstraksi dan hasil aktivitas antioksidan *in vitro* paling tinggi. SFE memberikan hasil ekstraksi rendah tetapi hasil antioksidan lebih baik (Souza et al., 2019). Metode keenam, yaitu *maceration extraction* (MAC) menghasilkan polifenol. Metode MAC jika dibandingkan dengan UAE tidak menguntungkan karena metode tidak efisien dan kandungan polifenol yang lebih rendah (Safdar et al., 2017).

Metode ketujuh dan kedelapan, yaitu ekstraksi dua tahap dan ekstraksi tiga tahap menghasilkan antosianin dan polifenol. Ekstraksi tiga tahap lebih menguntungkan secara ekonomi daripada ekstraksi dua tahap serta ekstraksi tiga tahap menghasilkan polifenol dengan sifat fungsional lebih tinggi (> 65%) dan kemurnian lebih tinggi (> 10,4%) daripada ekstraksi dua tahap (Mugwagwa & Chimphango, 2021). Metode kesembilan, yaitu *heating stirring extraction* (HSE) menghasilkan fenolik (Pal & Jadeja, 2019).

Limbah biji mangga pada tahap awal persiapan juga dilakukan penepungan menjadi bubuk. Terdapat 2 metode yang dilakukan untuk menghasilkan senyawa bioaktif dari limbah biji mangga, yaitu *pressurized liquid extraction* (PLE) dan *supercritical antisolvent fractionation* (SAF) menghasilkan fenolik yang berguna untuk menghambat sel kanker usus besar HT-29 serta pelarut etanol termasuk dalam *generally recognized as safe* (GRAS) (D. Ballesteros-Vivas et al., 2019). Limbah MSK pada tahap awal persiapan juga dilakukan penepungan menjadi bubuk.



Terdapat 5 metode yang dilakukan untuk menghasilkan senyawa bioaktif dari MSK. Metode pertama, kedua, dan ketiga, yaitu ekstraksi konvensional, *maceration extraction* (MAC), dan *pressurized liquid extraction* (PLE) menghasilkan senyawa antiproliferatif dan antioksidan yang berguna untuk menghambat sel kanker usus besar HT-29 (Diego Ballesteros-Vivas et al., 2019).

Metode keempat, yaitu *solid liquid extraction* (SLE) menghasilkan fenolik dengan kandungan sifat antioksidan, antibakteri, dan antivirus yang baik serta dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku makanan (Lim et al., 2019; Siacor et al., 2020). Metode kelima, yaitu *microwave assisted extraction* (MAE) menghasilkan antioksidan yang memiliki aktivitas yang lebih besar dibandingkan dengan antioksidan komersial (Torres-León et al., 2017).

Berbagai metode yang telah disebutkan, baru melakukan percobaan dalam skala laboratorium maka dari itu dapat dijadikan skala industri yang dapat menghasilkan keuntungan secara ekonomi. Metode-metode tersebut ada yang termasuk metode konvensional dan termasuk metode non konvensional. Metode konvensional, contohnya adalah *maceration extraction* (MAC) dan *soxhlet extraction* (SOX) memiliki kekurangan secara umum, yaitu waktu ekstraksi yang lama sehingga dapat menyebabkan hidrolisis dan oksidasi senyawa yang diinginkan. Metode non konvensional, contohnya *ultrasound assisted extraction* (UAE) dan *microwave assisted extraction* (MAE) memiliki kelebihan secara umum, yaitu waktu yang lebih singkat dengan kapasitas pemulihan yang lebih tinggi (Caldas et al., 2018).

#### **4.3.3. Films**

*Films* adalah lapisan polimer yang tipis dan fleksibel, dengan atau tanpa *plasticizer*. *Films* dapat digunakan sebagai kemasan makanan untuk melindungi produk dari lingkungan, memperpanjang umur simpan, serta meningkatkan keamanan dan kenyamanan dengan tetap menjaga kualitas dan kesegaran produk (Chaiwarit et al., 2020). *Films* dihasilkan dengan melakukan valorisasi memanfaatkan kulit dan biji mangga, kulit mangga, biji mangga, MSC, dan MSK.

*Films* yang dihasilkan dari kulit dan biji mangga, pada tahap awal kulit mangga dilakukan penepungan menjadi bubuk sedangkan biji mangga yang digunakan hanya bagian MSK dilakukan proses ekstraksi menghasilkan ekstrak antioksidan. Kemudian dilakukan *casting* dengan penambahan 1,09% bubuk kulit mangga dan diberi 2 perlakuan, yaitu ditambahkan ekstrak antioksidan dan tidak ditambahkan ekstrak antioksidan menghasilkan *edible films*. Penambahan bubuk kulit mangga meningkatkan *barrier properties* serta penambahan ekstrak antioksidan meningkatkan aktivitas antioksidan dan kandungan polifenol (Torres-León et al., 2018).

Limbah kulit mangga pada tahap awal persiapan dilakukan penepungan menjadi bubuk. Secara umum, metode penepungan adalah pengeringan, penggilingan, dan pengayakan. Terdapat 3 produk *films* yang diolah dengan limbah kulit mangga. Produk pertama adalah *active films*, pada tahap awal bubuk kulit mangga diolah dengan metode *maceration extraction* (MAC) menghasilkan ekstrak kulit mangga. Kemudian dilakukan *casting* dengan penambahan 1%; 3%; 5% ekstrak kulit mangga, *fish gelatin*, air distilasi, dan gliserol. Penambahan ekstrak kulit mangga meningkatkan aktivitas *free radical scavenging* dan *film strength* serta mengurangi *water vapor permeability* (WVP) dan solubilitas (A. N. Adilah et al., 2018).

Produk kedua adalah *active films*, pada tahap awal bubuk kulit mangga diolah dengan metode *continuous agitation extraction* dan *sonication extraction* menghasilkan ekstrak kulit mangga. Kemudian dilakukan *casting* dengan penambahan ekstrak kulit mangga, air distilasi, dan gliserol. Penambahan ekstrak kulit mangga meningkatkan *UV-blocking*, *tensile strength*, aktivitas antioksidan, dan antibakteri serta meningkatkan umur simpan produk dan aman untuk konsumsi manusia karena telah dilakukan pengujian terhadap bakteri gram negatif *P. fluorescens* hasilnya negatif (Kanatt & Chawla, 2018).

Produk ketiga adalah *edible films* yang diolah dengan penambahan 0%; 2%; 4% bubuk kulit mangga, NaOH encer, sorbitol, dan asam fosfat pekat menggunakan

metode *casting*. Penambahan bubuk kulit mangga meningkatkan ketahanan penetrasi, parameter warna  $a^*$  dan  $b^*$ , senyawa fenolik total, dan kapasitas antioksidan (Rojas-Bravo et al., 2019). Limbah biji mangga pada tahap awal persiapan juga dilakukan penepungan menjadi bubuk.

Terdapat 5 produk *films* yang diolah dengan limbah biji mangga. Produk pertama adalah *biodegradable films* yang diolah dengan penambahan bubuk biji mangga, *poly lactic acid* (PLA), dan kloroform menggunakan metode *casting*. Penambahan bubuk biji mangga dan PLA menunjukkan interaksi fisik dan meningkatkan *crystallization temperature* ( $T_c$ ) serta mengurangi *melting temperature* ( $T_m$ ) dan *glass temperature* ( $T_g$ ) (Lima et al., 2019).

Produk kedua adalah *active films* yang diolah dengan penambahan bubuk biji mangga, *soy protein isolate* (SPI), lesitin kedelai, etanol, air distilasi, dan gliserol menggunakan metode *casting*. Penambahan bubuk biji mangga meningkatkan aktivitas antioksidan (Z. A. M. Adilah & Hanani, 2019). Produk ketiga adalah *active films* yang diolah dengan penambahan bubuk biji mangga, *fish gelatin*, *soy protein isolate* (SPI), lesitin kedelai, etanol, air distilasi, dan gliserol menggunakan metode *casting*. Penambahan bubuk biji mangga, *fish gelatin*, dan SPI meningkatkan aktivitas antioksidan, ketebalan *films*, dan *water vapor permeability* (WVP) (Maryam Adilah et al., 2018).

Produk keempat adalah *nanocomposite films* yang diolah dengan penambahan bubuk biji mangga, air distilasi, dan gliserol menggunakan metode *casting*. Penambahan bubuk biji mangga meningkatkan *film strength* dan *water vapor permeability* (WVP) (Silva et al., 2019). Produk kelima adalah *biocomposite films* yang diolah dengan penambahan bubuk biji mangga dan *poly lactic acid* (PLA) menggunakan metode *extruding*. Penambahan bubuk biji mangga meningkatkan modulus elastisitas (Lima et al., 2021).

Limbah MSC pada tahap awal persiapan juga dilakukan penepungan menjadi bubuk. Terdapat 1 produk *films* yang diolah dengan limbah MSC, yaitu *biocomposite films* yang diolah dengan penambahan bubuk MSC dan air deionisasi menggunakan metode *casting*. Penambahan bubuk MSC menghasilkan *biocomposite films* yang kuat dan stabil secara termal yang dapat dimanfaatkan sebagai *food packaging* (Bello & Chimphango, 2021).

Limbah MSK pada tahap awal persiapan juga dilakukan penepungan menjadi bubuk. Terdapat 1 produk *films* yang diolah dengan limbah MSK, yaitu *active films* yang diolah dengan penambahan bubuk MSK, air distilasi, gliserol, *polyoxyethylene sorbitan monooleate*, dan *sorbitan monooleate* menggunakan metode *casting*. Penambahan bubuk MSK meningkatkan aktivitas antioksidan, kapasitas penyerapan UV, dan *barrier properties* serta mengurangi *tensile properties* dan transparansi (Melo et al., 2019).

Berbagai macam produk *films* yang telah disebutkan, baru melakukan percobaan dalam skala laboratorium maka dari itu dapat dijadikan skala industri yang dapat menghasilkan keuntungan secara ekonomi. *Casting* merupakan metode yang paling banyak dilakukan dalam skala laboratorium untuk menghasilkan *films*. Kelebihan metode *casting* adalah kemudahan dalam pembuatan *films* karena tidak menggunakan alat khusus sehingga biaya cukup rendah. *Extruding* merupakan metode yang paling banyak dilakukan dalam skala industri (skala komersial) untuk menghasilkan *films*. Kelebihan metode *extruding* adalah kinerja tinggi, biaya rendah, dan proses yang efisien (Suhag et al., 2020).

*Edible films* adalah kemasan primer yang terbuat dari komponen yang dapat dikonsumsi, terdapat dalam bentuk cair untuk langsung melapisi makanan yang disebut *coating* atau dalam bentuk lembaran padatan yang disebut *films*. Fungsi utama *edible films* adalah melindungi produk dari kerusakan mekanis, fisik, kimia, kontaminasi mikroba, dan pengurangan transfer gas (Torres-León et al., 2018). Serta dapat ditambahkan senyawa bioaktif seperti antioksidan dan antimikroba

yang meningkatkan atribut fungsional pada formulasi *films* sehingga memperpanjang umur simpan produk (Rojas-Bravo et al., 2019)

#### 4.3.4. Pektin

Pektin adalah polisakarida asam koloid kompleks. Pektin banyak digunakan sebagai zat pengental dan penstabil dalam minuman, produk susu, dan *confectionary* karena sifat gelasnya (Nguyen et al., 2019). Pektin dihasilkan dengan melakukan valorisasi memanfaatkan kulit mangga. Limbah kulit mangga pada tahap awal persiapan dilakukan penepungan menjadi bubuk. Secara umum, metode penepungan adalah pengeringan, penggilingan, dan pengayakan.

Terdapat 7 metode yang dilakukan untuk menghasilkan pektin dari limbah kulit mangga. Metode pertama dan kedua, yaitu ekstraksi pektin konvensional dan ekstraksi pektin *sonication*. Waktu ekstraksi pektin *sonication* lebih singkat daripada ekstraksi pektin konvensional sehingga lebih hemat biaya dan lebih ramah lingkungan serta derajat esterifikasi pektin sebesar  $\leq 50\%$  yang dikelompokkan sebagai *low methoxyl pectin* (LMP) dan dapat dimanfaatkan sebagai *nutraceutical additive* pada produk makanan rendah kalori (Banerjee et al., 2016).

Metode ketiga dan keempat, yaitu *conventional citric acid extraction* (CE) dan *ultrasound assisted citric acid extraction* (UAE). Hasil ekstraksi dengan suhu 80°C dengan UAE (15 menit) lebih menguntungkan karena jumlah pektin yang dihasilkan kurang lebih sama dengan CE (2 jam) serta ekstraksi dengan suhu 80°C menghasilkan pektin dengan kandungan GalA, protein, *molecular weight*, viskositas, kapasitas pengemulsi, dan stabilitas yang lebih baik (lebih tinggi) daripada ekstraksi dengan suhu 20°C (Wang et al., 2016).

Metode kelima adalah ekstraksi pektin *hydrothermal* menghasilkan pektin dengan derajat esterifikasi pektin sebesar 77-89% sesuai dengan pektin komersial (Banerjee et al., 2018). Metode keenam adalah *hydrothermal microwave assisted acid-free extraction* menghasilkan pektin dengan derajat esterifikasi tinggi, kemampuan



*gelling* yang sangat baik, dan dapat dimanfaatkan sebagai *mesoporous cellulose* pada bahan baku *biorefinery* (Matharu et al., 2016).

Metode ketujuh adalah *microwave assisted extraction* (MAE) menghasilkan pektin dengan derajat esterifikasi pektin sebesar 76% dikelompokkan sebagai *high methoxyl pectin* (HMP). Serta hasil ekstraksi dengan MAE (500 W) menghasilkan pektin lebih banyak daripada ekstraksi konvensional dan hasil ekstraksi dengan MAE (900 W) menghasilkan pektin dengan kandungan metoksil lebih rendah daripada ekstraksi konvensional (Chaiwarit et al., 2020; Sommano et al., 2018).

Berbagai metode yang telah disebutkan, baru melakukan percobaan dalam skala laboratorium maka dari itu dapat dijadikan skala industri yang dapat menghasilkan keuntungan secara ekonomi. Metode-metode tersebut ada yang termasuk metode konvensional dan termasuk metode non konvensional. Metode konvensional, contohnya adalah *conventional citric acid extraction* (CE) memiliki kekurangan secara umum, yaitu waktu ekstraksi yang lama sehingga dapat menyebabkan hidrolisis dan oksidasi senyawa yang diinginkan. Metode non konvensional, contohnya *hydrothermal microwave assisted acid-free extraction* memiliki kelebihan secara umum, yaitu waktu yang lebih singkat dengan kapasitas pemulihan yang lebih tinggi (Caldas et al., 2018).

#### **4.3.5. Minyak**

Minyak dihasilkan dengan melakukan valorisasi memanfaatkan biji mangga dan MSK. Limbah biji mangga pada tahap awal persiapan dilakukan penepungan menjadi bubuk. Secara umum, metode penepungan adalah pengeringan, penggilingan, dan pengayakan. Terdapat 1 metode yang dilakukan untuk menghasilkan minyak dari limbah biji mangga, yaitu *supercritical CO<sub>2</sub> extraction*. Minyak yang dihasilkan mengandung asam linoleat,  $\alpha$ -linolenat, dan asam oleat serta dapat digunakan dalam industri makanan sebagai ekstrak antimikroba sehingga dapat meningkatkan umur simpan makanan dan dapat digunakan dalam pembuatan coklat sebagai *cocoa butter equivalent* (Cerón-Martínez et al., 2021).

Limbah MSK pada tahap awal persiapan juga dilakukan penepungan menjadi bubuk. Terdapat 3 metode yang dilakukan untuk menghasilkan minyak dari limbah MSK. Metode pertama, yaitu *soxhlet extraction* (SOX). Minyak yang dihasilkan dapat digunakan dalam pembuatan coklat sebagai *cocoa butter equivalent* (Naeem et al., 2019). Metode kedua, yaitu ekstraksi minyak konvensional. Minyak yang dihasilkan mengandung polifenol konsentrasi tinggi serta berpotensi sebagai bahan baku produk pangan berbasis minyak dan sebagai antioksidan alami (Mas'ud et al., 2021). Metode ketiga, yaitu *supercritical CO<sub>2</sub> extraction*. Minyak yang dihasilkan mengandung asam lemak jenuh lebih tinggi (Olugbenga Olufemi Awolu & Manohar, 2019).

Berbagai metode yang telah disebutkan, baru melakukan percobaan dalam skala laboratorium maka dari itu dapat dijadikan skala industri yang dapat menghasilkan keuntungan secara ekonomi. Metode-metode tersebut ada yang termasuk metode konvensional dan termasuk metode non konvensional. Metode konvensional, contohnya adalah *soxhlet extraction* (SOX) memiliki kekurangan secara umum, yaitu waktu ekstraksi yang lama sehingga dapat menyebabkan hidrolisis dan oksidasi senyawa yang diinginkan. Metode non konvensional, contohnya *supercritical CO<sub>2</sub> extraction* memiliki kelebihan secara umum, yaitu waktu yang lebih singkat dengan kapasitas pemulihan yang lebih tinggi (Caldas et al., 2018).

*Supercritical* adalah keadaan suhu dan tekanan di atas titik kritis. Pada kondisi *supercritical*, CO<sub>2</sub> (suhu kritis 31,2°C dan tekanan kritis 7,4 MPa) dapat dimampatkan dan memiliki sifat gas dan cair dengan daya pelarut yang ditingkatkan sehingga memberikan keuntungan dibandingkan ekstraksi konvensional. *Supercritical CO<sub>2</sub> extraction* dapat diterima secara luas sebagai alternatif yang layak dan lebih baik untuk teknik ekstraksi pelarut organik karena proses ekstraksi yang efisien (Olugbenga Olufemi Awolu & Manohar, 2019).

#### 4.4. Tantangan

Tantangan yang dihadapi berasal dari metode (teknologi), keamanan pangan, dan penerimaan konsumen. Senyawa bioaktif yang dihasilkan dari kulit dan biji mangga serta kulit mangga dengan metode *maceration extraction* (MAC), ekstraksi konvensional, dan ekstraksi dua tahap menghadapi beberapa tantangan. Metode *maceration extraction* (MAC) menghadapi tantangan, yaitu tidak dapat mendeteksi *mangiferin*, tidak efisien, dan hasil ekstraksi menghasilkan polifenol dengan kandungan lebih rendah (Borrás-Enríquez et al., 2021; Safdar et al., 2017). Metode ekstraksi konvensional menghadapi tantangan, yaitu hasil ekstraksi lebih sedikit dan jumlah solven lebih banyak (Sánchez-Camargo et al., 2021). Metode ekstraksi dua tahap menghadapi tantangan, yaitu menghasilkan polifenol dengan sifat fungsional dan kemurnian yang lebih rendah serta tidak menguntungkan secara ekonomi (Mugwagwa & Chimphango, 2021).

Pektin yang dihasilkan dari kulit mangga dengan metode ekstraksi pektin konvensional dan *conventional citric acid extraction* (CE) menghadapi beberapa tantangan, yaitu waktu ekstraksi lebih lama (2 hingga 2,5 jam) sehingga tidak hemat biaya dan tidak ramah lingkungan serta hasil ekstraksi lebih sedikit (Banerjee et al., 2016; Sommano et al., 2018; Wang et al., 2016). Tantangan yang telah disebutkan dapat diatasi dengan peluang-peluang yang akan dibahas selanjutnya. Serta terdapat tantangan bahwa limbah yang dihasilkan dari rumah tangga sangat tinggi tetapi penelitian mengenai masalah limbah rumah tangga masih sedikit (Schanes et al., 2018).

#### 4.5. Peluang

Peluang yang dapat dimanfaatkan dan mengatasi tantangan yang dihadapi berasal dari metode (teknologi), keamanan pangan, dan penerimaan konsumen. Pangan fungsional yang dihasilkan dari limbah kulit mangga adalah teh kulit mangga, *kefir*, *tortilla chips*, *pasta*, roti, dan ekstrudat memiliki beberapa peluang. Peluang produk teh kulit mangga adalah hasil uji sensori paling baik teh dengan waktu *kneading* 10

menit dan waktu fermentasi 15 menit (Nanthachai, 2020). Peluang produk *kefir* adalah penambahan bubuk kulit mangga meningkatkan sifat antioksidan lebih baik dan pertumbuhan bakteri asam laktat (Vicenssuto & de Castro, 2020).

Peluang produk *tortilla chips* adalah penambahan bubuk kulit mangga meningkatkan kandungan senyawa fenolik total, aktivitas *radical scavenging*, dan skor kualitas uji sensori serta mengurangi indeks glikemik (Mayo-Mayo et al., 2020). Peluang produk *pasta* adalah penambahan 5% bubuk kulit mangga dapat diterima kualitasnya pada segi warna, pemasakan, dan sensori (Jalgaonkar et al., 2018).

Peluang produk roti adalah penambahan bubuk kulit mangga meningkatkan sifat antioksidan serta penambahan 3% bubuk kulit mangga dapat diterima kualitasnya pada segi fisik dan sensori (Pathak et al., 2016). Peluang produk ekstrudat adalah penambahan bubuk kulit mangga meningkatkan total serat pangan, protein, total komponen fenolik, dan aktivitas antioksidan serta mengurangi rasio ekspansi pada ekstrudat tetapi untuk uji sensori tetap diterima dengan baik (Korkerd et al., 2016).

Pangan fungsional yang dihasilkan dari limbah MSK adalah instan sup, *cake*, dan *cookies* memiliki beberapa peluang. Peluang produk instan sup adalah penambahan 50% bubuk MSK dapat diterima kualitasnya pada segi sensori dengan umur simpan hingga 2 bulan (Yatnatti & Vijayalakshmi, 2018). Peluang produk *cake* adalah penambahan 20% bubuk MSK dapat diterima kualitasnya pada segi sensori dengan umur simpan 7-10 hari tanpa bahan pengawet (Das et al., 2019). Peluang produk *cookies* adalah penambahan 25% bubuk MSK meningkatkan sifat fisik dan secara sensori dapat diterima dengan baik (Olugbenga O. Awolu et al., 2018).

Senyawa bioaktif yang dihasilkan dari limbah kulit dan biji mangga dengan metode *homogenizer assisted extraction* (HAE) memiliki peluang, yaitu metode lebih efisien, lebih ekonomis, dan lebih ramah lingkungan (Zuin et al., 2020). Senyawa bioaktif yang dihasilkan dari limbah kulit mangga dengan metode *ultrasound*

*assisted extraction* (UAE), *microwave assisted extraction* (MAE), dan ekstraksi tiga tahap memiliki beberapa peluang. Metode UAE memiliki peluang, yaitu waktu ekstraksi lebih singkat, limbah cair yang dihasilkan lebih sedikit, metode lebih efisien, hasil ekstraksi menghasilkan polifenol dengan kandungan lebih tinggi, dan pelarut etanol termasuk dalam *generally recognized as safe* (GRAS) (Mercado-Mercado et al., 2018; Safdar et al., 2017).

Metode MAE memiliki peluang, yaitu hasil ekstraksi lebih banyak dan jumlah solven lebih sedikit (Sánchez-Camargo et al., 2021). Metode ekstraksi tiga tahap memiliki peluang, yaitu menghasilkan polifenol dengan sifat fungsional dan kemurnian lebih tinggi daripada ekstraksi dua tahap serta lebih menguntungkan secara ekonomi (Mugwagwa & Chimphango, 2021). Senyawa bioaktif yang dihasilkan dari limbah MSK memiliki peluang, yaitu fenolik yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku makanan (Lim et al., 2019).

*Films* yang dihasilkan dari kulit mangga, biji mangga, dan MSC dengan metode *casting* memiliki beberapa peluang. Peluang produk *active films* adalah penambahan ekstrak kulit mangga meningkatkan *UV-blocking*, *tensile strength*, aktivitas antioksidan, dan antibakteri serta berdasarkan regulasi di Jepang, biji mangga aman untuk dikonsumsi (Z. A. M. Adilah & Hanani, 2019; Kanatt & Chawla, 2018).

Peluang produk *biodegradable films* adalah berdasarkan *U.S. Food and Drug Administration* (USDA), *poly lactic acid* (PLA) termasuk dalam *generally recognized as safe* (GRAS) (Lima et al., 2019). Peluang produk *biocomposite films* adalah penambahan bubuk MSC menghasilkan *biocomposite films* yang kuat dan stabil secara termal yang dapat dimanfaatkan sebagai *food packaging* (Bello & Chimphango, 2021).

Pektin yang dihasilkan dari limbah kulit mangga dengan metode ekstraksi pektin *sonication*, *ultrasound assisted citric acid extraction* (UAE), *hydrothermal*



*microwave assisted acid-free extraction*, dan *microwave assisted extraction* (MAE) memiliki beberapa peluang. Metode ekstraksi pektin *sonication* memiliki peluang, yaitu waktu ekstraksi lebih singkat (20 menit) sehingga lebih hemat biaya dan lebih ramah lingkungan, pelarut *lemon juice* lebih aman, serta menghasilkan pektin dengan derajat esterifikasi pektin sebesar  $\leq 50\%$  yang dikelompokkan sebagai *low methoxyl pectin* (LMP) dan dapat dimanfaatkan sebagai *nutraceutical additive* pada produk makanan rendah kalori (Banerjee et al., 2016).

Metode UAE memiliki peluang, yaitu waktu ekstraksi lebih singkat (15 menit) (Wang et al., 2016). Metode *hydrothermal microwave assisted acid-free extraction* memiliki peluang, yaitu menghasilkan pektin dengan derajat esterifikasi tinggi, kemampuan *gelling* yang sangat baik, dan dapat dimanfaatkan sebagai *mesoporous cellulose* pada bahan baku *biorefinery* (Matharu et al., 2016). Metode MAE memiliki peluang, yaitu hasil ekstraksi lebih banyak (Sommano et al., 2018).

Minyak yang dihasilkan dari biji mangga dan MSK dengan metode *supercritical CO<sub>2</sub> extraction* dan *soxhlet extraction* (SOX) memiliki beberapa peluang. Metode *supercritical CO<sub>2</sub> extraction* memiliki peluang, yaitu bahan CO<sub>2</sub> yang digunakan merupakan gas tidak beracun tetapi dapat menggantikan udara dalam ruangan sehingga harus disediakan ventilasi serta minyak yang dihasilkan dapat digunakan dalam industri makanan sebagai ekstrak antimikroba sehingga dapat meningkatkan umur simpan makanan dan dapat digunakan dalam pembuatan coklat sebagai bahan substitusi lemak kakao (Cerón-Martínez et al., 2021). Metode SOX memiliki peluang, yaitu minyak yang dihasilkan dapat digunakan dalam pembuatan coklat sebagai bahan substitusi lemak kakao (Naeem et al., 2019).