

BAB V

PEMBAHASAN

5.1. Ekstraksi Senyawa Fenolik Pada Kulit Buah Jeruk Manis

Menurut penelitian oleh Liew *et al.* (2018) didapati bahwa asam fenolik yang terkandung pada limbah kulit buah jeruk manis yaitu, asam galat (33,55 $\mu\text{g/g extract}$), asam protokatekuat (112,08 $\mu\text{g/g extract}$), asam 4-hidroksibenzoat (50,51 $\mu\text{g/g extract}$), asam kafeat (266,43 $\mu\text{g/g extract}$), asam ferulat (917,88 $\mu\text{g/g extract}$). Pengekstraksian senyawa fenolik dipengaruhi oleh berbagai faktor. Pada Tabel 2. terdapat perbandingan metode ekstraksi serta kondisi pengekstraksian yang digunakan untuk mengekstrak senyawa fenolik pada kulit buah jeruk. Dalam tabel tersebut didapati hasil tertinggi ekstraksi senyawa fenolik pada kulit buah jeruk adalah sebesar $169,94 \pm 2,13$ mg GAE/g. Hasil tersebut didapatkan dari percobaan yang dilakukan oleh Selmi *et al.* (2017) dengan pengeringan sebagai preparasi sampel, dan ekstraksi menggunakan metode maserasi, serta pelarut metanol 80%. Dalam perkembangannya, muncul metode - metode baru yang dapat menjadi alternatif dari metode maserasi.

Menurut Safdar *et al.* (2017) metode *Ultrasound-assisted Extraction* (UAE) dapat menyebabkan fenomena kavitasi yang menghasilkan arus pada pelarut, sehingga perpindahan massa antara sampel dan pelarut meningkat. Selain UAE, ada juga metode alternatif seperti EAE (*Enzyme-Assisted Extraction*), soxhlet, dan MAE (*Microwave-Assisted Extraction*). Pada Tabel 2, didapati bahwa sebagian besar ekstraksi senyawa fenolik menggunakan metode maserasi. Hal ini dikarenakan maserasi mudah dilakukan dan tidak memerlukan alat khusus. Metode ini memerlukan pelarut yang memiliki polaritas tertentu berdasarkan sampel uji (Liew *et al.*, 2018).

Senyawa fenolik dapat terlarut pada larutan yang memiliki polaritas tinggi seperti metanol dan etanol. Pada Tabel 2, ditemukan bahwa sebagian besar penelitian menggunakan pelarut etanol untuk mengekstraksi senyawa fenolik pada kulit buah jeruk manis. Alasan utama dalam penggunaan etanol dalam ekstraksi

senyawa bioaktif karena lebih aman, *food grade*, dan lebih efektif (Liew *et al.*, 2018). Selain itu, penelitian Safdar *et al.* (2017) menyatakan bahwa metanol dengan konsentrasi 80% dapat mengekstraksi senyawa flavonoid secara optimal, diikuti dengan etanol 80%. Hal ini dikarenakan metanol maupun etanol secara khusus memiliki afinitas yang tinggi dalam ekstraksi senyawa polifenol (Dewi *et al.*, 2019). Selain itu, etanol juga dapat meningkatkan kelarutan zat yang terlarut. Pada sebagian besar metode yang dilakukan menggunakan pelarut dengan konsentrasi dibawah 100%, yang mempengaruhi dan melemahkan ikatan hidrogen dari pelarut tersebut, sehingga perpindahan massa dapat semakin cepat (Safdar *et al.*, 2017). Berdasarkan hal tersebut, maka pelarut terbaik untuk ekstraksi limbah kulit buah jeruk manis yaitu etanol 80%.

Hasil ekstraksi dengan metode maserasi juga sangat dipengaruhi oleh suhu dan waktu ekstraksi. Suhu saat proses ekstraksi dapat mempengaruhi permeabilitas pada membran sel sampel dan solubilitas senyawa bioaktif. Secara tidak langsung suhu ekstraksi juga mempengaruhi viskositas maupun densitas pelarut, yang berhubungan dengan difusi, dan perpindahan massa saat proses. Pada Tabel 2, didapati bahwa sebagian besar suhu yang digunakan dalam proses ekstraksi berkisar 25°C hingga 80°C pada metode MAE. Peningkatan suhu saat proses ekstraksi, akan menurunkan viskositas pelarut organik yang digunakan. Pada saat yang sama, permeabilitas membran sel kulit buah jeruk meningkat. Hal ini mempermudah pelarut untuk mengekstraksi senyawa bioaktif yang ada (Setford *et al.*, 2017). Berdasarkan data pada tabel, penelitian yang menggunakan metode maserasi dilakukan pada suhu ruang atau 25°C. Hal ini dikarenakan sebagian besar senyawa polifenol sensitif terhadap suhu tinggi dan dapat terdegradasi (Chaaban *et al.*, 2017).

Berdasarkan data dalam Tabel 2, didapati metode maserasi dilakukan selama 2 jam hingga 72 jam, sedangkan metode lainnya memerlukan waktu yang jauh lebih singkat. Waktu yang singkat pada metode ini menghasilkan senyawa fenolik yang jauh lebih rendah dibandingkan hasil terbaik pada tabel. Hal ini dikarenakan pelarut memerlukan waktu untuk dapat melakukan perpindahan massa pada

sampel. Pada saat proses ekstraksi, terdapat satu titik dimana proses tersebut dapat berjalan dengan efektif dan signifikan hingga titik selanjutnya (Giwa *et al.*, 2018). Berdasarkan hal tersebut, didapatkan waktu optimal untuk ekstraksi senyawa fenolik pada limbah kulit buah jeruk manis yaitu 72 jam.

Penggunaan panas dapat merubah sifat fisik, nilai gizi, serta *microstructure* dari kulit buah jeruk. Pada Tabel 2, penelitian Montero-Calderon *et al.* (2019) mendapatkan hasil ekstraksi senyawa fenolik paling kecil dibandingkan penelitian lainnya, yaitu sebesar 1,0596 mg GAE/g. Hal ini dikarenakan tidak adanya *pretreatment* pengeringan pada sampel. Pengeringan atau dehidrasi dengan suhu sekitar 50-60°C mengakibatkan gangguan dan degradasi struktur selulosa pada kulit buah jeruk. Perlakuan tersebut juga dapat membantu kulit buah jeruk untuk melepaskan sebagian senyawa fenolik dengan massa molekul yang rendah. Menurut penelitian Chen *et al.* (2011) pengeringan kulit buah jeruk pada suhu 100°C dapat menghasilkan total senyawa fenolik 2 kali lipat dibandingkan penggunaan kulit buah jeruk yang segar. Pengeringan pada suhu 70°C mungkin dapat menyebabkan pembentukan zat fenolik karena ketersediaan prekursor molekul fenolik oleh interkonversi non-enzimatik antara molekul fenolik. Berdasarkan penelitian Chen *et al.* (2011) pengeringan terbaik untuk ekstraksi senyawa polifenol yaitu dengan suhu 100°C, selama 48 jam.

5.2. Ekstraksi Senyawa Flavonoid Pada Kulit Buah Jeruk Manis

Selain senyawa fenolik, kulit buah jeruk manis juga mengandung senyawa flavonoid dalam jumlah yang signifikan. Hasil penelitian Liew *et al.* (2018) menunjukkan bahwa jenis flavonoid utama pada ekstrak kulit buah jeruk manis yaitu *flavan-3-ols* (katekin (572,26 µg/g *extract*) dan epigallocatekin (446,57 µg/g *extract*)), diikuti dengan *flavanone* (luteolin (516,27 µg/g *extract*), apigenin (331,19 µg/g *extract*), dan viteksin (225,52 µg/g *extract*)), dan *flavonol* (rutin (21,63 µg/g *extract*)). Selain itu, Victor *et al.* (2021) mendapati hasil ekstraksi hesperidin pada kulit buah jeruk manis sebesar 2,8%. Pada umumnya kadar flavonoid ditentukan berdasarkan jumlah katekin (CE) atau kuersetin (QE) pada ekstrak sampel yang diuji. Hasil perbandingan pada Tabel 3 menunjukkan pada

percobaan Oboh & Ademosun (2012), senyawa flavonoid yang tereskrak lebih rendah dibandingkan hasil percobaan lainnya ($1,3 \pm 0,12$ mg/g *free soluble flavonoid*). Jenis *free soluble flavonoid* ini terkandung dalam jumlah yang lebih tinggi dan mudah diekstrak dibandingkan jenis *bound flavonoid*. Pada Tabel 3, didapati metode yang paling banyak digunakan yaitu maserasi, khususnya dalam ekstraksi senyawa flavonoid. Hal ini dikarenakan metode maserasi terbukti lebih efektif dalam mengekstrak flavonoid dibandingkan metode *non-conventional* seperti EAE, dan lainnya, karena tidak memerlukan pemanasan (Saini *et al.*, 2019).

Berdasarkan Tabel 3, didapatkan kandungan senyawa flavonoid tertinggi dengan metode maserasi sebesar $87,48 \pm 1,59$ mg QE/g. Ekstraksi tersebut dilakukan menggunakan pelarut metanol dengan konsentrasi 80%. Penggunaan pelarut pada maserasi sangat mempengaruhi hasil ekstrak yang didapatkan. Berdasarkan tabel tersebut, pelarut yang digunakan berbeda-beda. Hal ini didasari oleh teori *like dissolve like*, dimana adanya kesamaan polaritas antara flavonoid pada kulit buah jeruk dan etanol, metanol, serta aseton. Metode EAE menggunakan pelarut yang berbeda dikarenakan adanya campuran enzim sebagai dasar pelarut dalam metode tersebut. Ekstraksi dengan pelarut etanol maupun metanol dapat meningkatkan konsentrasi dari kebanyakan flavonoid yang terekstrak (Liew *et al.*, 2018). Etanol juga memiliki afinitas yang tinggi dalam ekstraksi senyawa polifenol. Etanol sering digunakan dalam proses ekstraksi senyawa bioaktif karena lebih aman, *food grade* dan lebih efektif. Penelitian Safdar *et al.* (2017) mendapati bahwa etanol dengan konsentrasi 80% dapat mengekstraksi senyawa flavonoid secara optimal setelah metanol 80%. Meskipun etanol dikenal lebih aman dibandingkan pelarut organik lainnya, etanol juga memiliki sifat toksik. Etanol dapat menginduksi metabolisme enzim dalam tubuh (terutama hati) dan menciptakan reaksi stress oksidatif, sehingga etanol dapat dikatakan bersifat hepatotoksik (Malaguarnera *et al.*, 2012). Berdasarkan hal tersebut, maka pelarut yang paling optimal dan aman dalam ekstraksi senyawa limbah kulit buah jeruk manis yaitu etanol 80%.

Hasil ekstraksi dengan metode maserasi, sangat dipengaruhi oleh jenis maupun konsentrasi pelarut, serta faktor seperti suhu, *pretreatment*, dan waktu ekstraksi. Suhu saat proses ekstraksi mempengaruhi permeabilitas pada membran sel sampel, dan solubilitas senyawa bioaktif (Setford *et al.*, 2017). Secara tidak langsung suhu ekstraksi juga mempengaruhi viskositas maupun densitas pelarut, yang berhubungan dengan difusi dan perpindahan massa saat proses. Pada Tabel 3, proses ekstraksi kebanyakan dilakukan pada suhu ruang. Hal ini dikarenakan sebagian besar senyawa polifenol merupakan senyawa yang sensitif terhadap suhu, sehingga peningkatan suhu ekstraksi dapat menyebabkan degradasi pada senyawa flavonoid (Chaaban *et al.*, 2017). Di sisi lain, peningkatan waktu ekstraksi sangat mempengaruhi jumlah flavonoid yang terekstrak. Hal ini dikarenakan pelarut memerlukan waktu untuk dapat melakukan perpindahan massa pada sampel (Giwa *et al.*, 2018). Berdasarkan hal tersebut, didapatkan waktu optimal untuk ekstraksi senyawa flavonoid pada limbah kulit buah jeruk manis yaitu 72 jam.

Berdasarkan data pada Tabel 3, semua penelitian menggunakan *pretreatment* pengeringan. Pengeringan dengan suhu di bawah 100°C, akan meningkatkan ekstrak senyawa fenolik dan flavonoid (Lou *et al.*, 2015). Perlakuan ini membantu degradasi struktur selulosa pada kulit buah jeruk, dimana hasil ekstraksi yang didapatkan akan meningkat secara signifikan dibandingkan ekstraksi dengan sampel segar (Chen *et al.*, 2011). Di sisi lain, pengeringan kulit buah jeruk pada suhu yang terlalu tinggi (>100°C) juga dapat merusak komponen flavonoid pada kulit buah jeruk. Berdasarkan penelitian Chen *et al.*, (2011), didapati bahwa pengeringan terbaik sebagai *pretreatment* ekstraksi senyawa bioaktif limbah kulit buah jeruk manis, dilakukan pada suhu 100°C selama 48 jam.

5.3. Ekstraksi Minyak Esensial Pada Kulit Buah Jeruk Manis

Kulit buah jeruk manis merupakan salah satu bahan yang dikenal memiliki aroma tersendiri. Hal ini mengindikasikan bahwa kulit buah jeruk manis mengandung minyak esensial dalam jumlah yang tinggi. Menurut González *et al.* (2019) spesies jeruk manis lebih kaya dalam keragaman hidrokarbon seskuiterpen

dibandingkan spesies lainnya. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kulit buah jeruk manis mengandung sekitar 64% hingga 94% *limonene* dari total minyak esensial yang ada. Berdasarkan total yield minyak esensial yang terekstrak, didapati komponen selain *limonene* (41,44%) yaitu, 5-hidroksimetilfurfural, asam 9-oktodesen 12-ynoat, ascaridole epoksida, -elemen, metil ester, bis (2-etilheksil) ftalat, vitamin E, dan β -sitosterol. Pada tabel 4, didapati bahwa pengekstraksian dengan % yield tertinggi didapatkan dari penelitian Sheikh *et al.* (2021) dengan yield sebesar $10.67 \pm 0.17\%$. Penelitian ini menggunakan *pretreatment* pengeringan pada suhu 48 °C, selama 4 hari. Selain itu, ekstraksi dilakukan dengan metode soxhlet yang menggunakan pelarut etanol (1:9 rasio), dan dilakukan pada suhu 78°C selama 360 menit. Dalam tabel tersebut terdapat beberapa metode ekstraksi seperti, E-HD (*Enzyme-Hydrodistillation*), hidro distilasi, dan soxhlet. Metode soxhlet merupakan metode yang paling optimal dalam ekstraksi minyak esensial, dikarenakan metode soxhlet menggunakan pemanasan dalam prosesnya. Hal ini didukung oleh penelitian Zhu *et al.* (2020) yang menunjukkan bahwa pengekstraksian minyak esensial menggunakan metode soxhlet yang digabungkan dengan pelarut etanol, dapat menghasilkan rendemen hingga 40% lebih tinggi dibandingkan metode lainnya.

Jumlah minyak esensial pada bahan dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, umur dan kualitas bahan, variasi genetik bahan, serta metode ekstraksi yang digunakan (Sheikh *et al.*, 2021). Penggunaan etanol pada pengekstraksian minyak esensial disebabkan sifat polar pada larutan tersebut. Hal ini didasari oleh teori *like dissolve like*, dimana pelarut etanol yang bersifat polar ini dapat mengekstraksi minyak esensial dengan polaritas yang hampir sama (Xhaxhiu *et al.*, 2013). Selain itu, etanol merupakan *green solvent* sehingga aman digunakan dan memiliki toksisitas yang rendah. Etanol bekerja dengan cara melarutkan minyak esensial dari dalam sel kulit buah jeruk, lalu menyerap aroma dan menguap.

Berdasarkan Tabel 4, ekstraksi minyak esensial dilakukan dengan mengeringkan bahan terlebih dahulu. *Pretreatment* pengeringan yang optimal didapatkan pada

suhu 48°C, selama 4 hari. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan air pada bahan, serta merusak struktur sel pada kulit buah jeruk manis. Air pada sampel pada umumnya akan menghambat proses difusi oleh pelarut yang digunakan. Perusakan struktur sel, memudahkan pelarut untuk mengekstrak komponen bioaktif pada kulit buah jeruk manis (Cheenkachron *et al.*, 2022).

Berdasarkan Tabel 4, penelitian yang dianalisis menggunakan ekstraksi dengan suhu diatas 40°C, hingga 95,23°C. Penelitian Fakayode & Abobi (2018), mendapati suhu ekstraksi minyak esensial secara optimal yaitu pada suhu 95,23°C. Hasil ekstraksi dari penelitian tersebut dapat lebih rendah dibandingkan penelitian Sheikh *et al.* (2021) dikarenakan *pretreatment* dan pelarut yang tidak optimal dalam ekstraksi minyak esensial. Menurut Giwa *et al.* (2018) pada suhu rendah pelarut tidak cukup untuk menembus matriks kulit buah jeruk manis, sedangkan pada suhu tinggi, minyak esensial akan keluar dari matriks kulit, dan lebih mudah diekstraksi. Pada suhu tinggi, permeabilitas dinding sel, serta solubilitas senyawa bioaktif pada sampel meningkat. Di sisi lain, secara tidak langsung suhu tinggi juga menurunkan viskositas pelarut. Viskositas yang menurun tersebut akan mempermudah proses difusi serta perpindahan massa saat proses ekstraksi (Setford *et al.*, 2017).

Dalam Tabel 4, didapati bahwa ekstraksi minyak esensial dilakukan selama 60 menit hingga 360 menit. Metode soxhlet memang dilakukan dalam waktu yang lama, agar didapati hasil yang maksimal. Selain itu, waktu ekstraksi ini mempengaruhi jumlah rendemen yang akan dihasilkan. Semakin lama waktu ekstraksi yang dilakukan, maka pelarut juga bekerja lebih lama. Hal ini dikarenakan pelarut memerlukan waktu untuk medapat berdifusi dan melakukan perpindahan massa. Hal tersebut menyebabkan ekstraksi minyak esensial meningkat secara eksponensial dan berhenti pada titik tertentu (Giwa *et al.*, 2018). Berdasarkan hal tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa 360 menit merupakan waktu yang optimal dalam ekstraksi minyak esensial pada limbah kulit buah jeruk manis.

5.4. Ekstraksi Pektin Pada Kulit Buah Jeruk Manis

Pektin merupakan jenis heteropolisakarida kompleks yang terdiri dari residu asam galakturonat termetoksilasi, dan tersebar sebagai unit struktural maupun sambungan antar sel pada buah dan sayur (Arioui *et al.*, 2017). Kulit buah jeruk memiliki 2 bagian yaitu flavedo dan albedo. Albedo merupakan bagian yang berpori dan berwarna putih pada bagian dalam kulit jeruk. Flavedo merupakan bagian kulit luar yang lebih keras, serta memiliki struktur yang lebih terikat kuat dibandingkan albedo. Berdasarkan data pada Tabel 5, penelitian Zanella & Taranto, (2015), menghasilkan ekstraksi pektin tertinggi sebesar 38,21%. Dalam penelitian ini digunakan metode maserasi, dengan pelarut asam sitrat (1:70), yang ber-pH 2,5. Ekstraksi tersebut dilakukan pada suhu 80°C selama 120 menit. Dalam tabel tersebut dapat diketahui bahwa hasil ekstraksi metode maserasi yang menggunakan agitasi 650 rpm, lebih tinggi tiga kali lipat dibandingkan metode maserasi lainnya, dengan *pretreatment*, perlakuan tambahan saat ekstraksi, pelarut, dan waktu ekstraksi yang berbeda. Selain itu, metode ini menghasilkan jumlah ekstrak yang relatif tinggi dibandingkan metode EMI, MAE, dan UHPE. Hal ini dikarenakan kecepatan agitasi dapat meningkatkan penetrasi pelarut ke dalam jaringan kulit buah jeruk manis. Selain itu, kecepatan agitasi juga mempercepat pelepasan zat terlarut dengan mengganggu dinding sel (Kehili *et al.*, 2019). perlakuan ini sangat berpengaruh terhadap hasil ekstrak, dimana kondisi pH, waktu, dan suhu ekstrak yang tidak optimal pada penelitian tersebut tetap menghasilkan pektin dengan persentase tertinggi.

Pengekstraksian pektin diperlukan pelarut dengan karakteristik tertentu untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Salah satu karakteristik pelarut tersebut yaitu pH yang rendah. Berdasarkan penelitian Hosseini *et al.* (2018) didapati bahwa kondisi pH rendah dapat meningkatkan deskonstruksi pada struktur pektin dan mengakibatkan peningkatan rendemen ekstraksi. Selain itu, pelarut asam memiliki kemampuan untuk meningkatkan hidrolisis dari molekul pektin yang tidak larut, menjadi bentuk yang larut. Pada umumnya, pelarut yang digunakan seperti campuran air dan heksana, asam hidroklorik, metanol, dan karbon dioksida. Pada

Tabel 5, pelarut yang digunakan antara lain adalah larutan asam sitrat, larutan asam salisilat, HCl, dan aquades yang diasamkan. Pelarut-pelarut tersebut dapat berdampak buruk pada lingkungan, sehingga sebagai alternatifnya, digunakanlah pelarut dengan campuran asam sitrat dan air. Hal ini dikarenakan asam sitrat termasuk dalam asam organik lemah dan aman terhadap lingkungan (Zanella & Taranto, 2015).

Tabel 5 menunjukkan pH pelarut yang digunakan beragam dari 1,2 hingga 2,5, serta hasil ekstraksi tertinggi didapatkan pada pH 2,5. Menurut penelitian Chan & Choo (2013), yang membandingkan penggunaan asam sitrat pada pH 2,5 dan 4, mendapati bahwa hasil rendemen pektin secara optimal didapatkan dengan penggunaan larutan asam sitrat pH 2,5. Di sisi lain, Kamal *et al.* (2021) mendapati bahwa penggunaan pelarut dengan pH 1,5 jauh lebih optimal dibandingkan pelarut dengan pH 2,5. Penelitian Kamal *et al.* (2021) didukung oleh pendapat Fakayode & Abobi (2018), dimana solubilitas dan degradasi dari zat pektik dan rantai samping gula netral akan meningkat pada pH yang semakin rendah, sehingga meningkatkan laju ekstraksi. Berdasarkan hal tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa pH pelarut yang optimal untuk mengekstraksi pektin adalah 1,5.

Suhu dan waktu pada proses ekstraksi pektin sangat mempengaruhi hasil rendemen secara signifikan. Suhu sekitar 50 hingga 95°C pada proses ekstraksi dapat membantu pelarut melarutkan pektin dan komponen pektin lainnya yang tertahan di dinding sel (protopektin). Hal ini didukung oleh penelitian Kamal *et al.* (2021), dan Fakayode & Abobi (2018), dimana peningkatan temperatur hingga 95°C dapat menghasilkan rendemen pektin secara maksimal. Peningkatan suhu akan menyebabkan peningkatan kelarutan dan difusitas pada pektin serta komponen pektik lainnya terhadap larutan yang digunakan. Waktu ekstraksi dapat berpengaruh karena proses ekstraksi memerlukan waktu untuk dapat melakukan perpindahan massa, dan mendeskonstruksi struktur dinding sel kulit buah jeruk. Proses ekstraksi yang terlalu lama dan panas akan menyebabkan degradasi sehingga kualitas pektin menurun.

Berdasarkan data pada Tabel 5, didapati bahwa hasil tertinggi ekstraksi pektin dilakukan pada suhu 80°C selama 120 menit. Berdasarkan teori yang ada, penelitian Kamal *et al.* (2021) telah melakukan percobaan dengan optimasi dengan variabel suhu 80-100°C, dan waktu selama 90-120 menit. Dengan optimasi yang menggunakan metodologi permukaan respon (RSM), didapatkan hasil optimal ekstraksi pada suhu 94,13°C, dan waktu selama 114,7 menit. Hasil ekstraksi yang optimal pada penelitian ini masih dibawah hingga 14,6% dari hasil terbaik pada Tabel 5. Hal ini dapat terjadi dikarenakan proses *pretreatment*, kondisi lingkungan dan daerah sampel ditanam, metode ekstraksi, serta jenis pelarut yang digunakan.

Pada penelitian Zanella & Taranto (2015) yang menghasilkan ekstrak pektin tertinggi pada tabel, mendapatkan bahwa pengeringan menunjukkan 2 periode, yaitu periode penyesuaian temperatur dan periode penguapan kadar air. Periode penguapan kadar air ini terdapat panas yang meningkatkan kelarutan dari zat pektik. Hal tersebut menyebabkan pecahnya sel dan ikatan struktur sel, sehingga transport air dipercepat. Dalam kondisi yang kering, proses ekstraksi akan berjalan lebih cepat karena proses difusi pelarut ke dalam struktur kulit buah jeruk menjadi semakin mudah. Penelitian ini mengoptimalkan *pretreatment* pengeringan, dimana peningkatan suhu hingga 70°C dengan bantuan kecepatan udara 0,1 m/s, mendapatkan hasil yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan pengeringan pada umumnya.

5.5. Valorisasi Senyawa Bioaktif Pada Kulit Buah Jeruk Manis

Dengan berkembangnya zaman, teknologi yang ada sudah sangat berkembang. Beragam teknologi tersebut dapat membantu munculnya ide-ide baru dalam mengolah segala sesuatu. Limbah kulit buah jeruk manis merupakan limbah yang berjumlah sangat besar, mengingat produksi jeruk tiap tahunnya berjumlah hingga 115 juta ton. Beragam upaya dalam memanfaatkan limbah kulit buah jeruk manis, sudah dilakukan. Contohnya yaitu pembuatan pupuk organik, pembuatan biogas dan *biofuel*, pembuatan keripik kulit jeruk manis, dll. Dengan tingginya kandungan senyawa bioaktif pada kulit buah jeruk manis, sangat disayangkan jika

hanya sedikit dari kandungan tersebut yang dimanfaatkan. Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukanlah valorisasi senyawa bioaktif pada kulit buah jeruk hingga menjadi produk-produk yang bernilai tinggi, bahkan berdampak positif di lingkup masyarakat.

5.5.1. Produksi Pangan

Kulit buah jeruk manis mengandung vitamin C, tiamin, niasin, piridoksin, fosfor, kalsium, serat, bahkan flavonoid dan asam fenolik (Ademosun *et al.*, 2016). Produksi pangan sendiri terdiri dari berbagai tahapan dan macam. Berdasarkan data pada Tabel 6, didapati bahwa sudah terdapat berbagai jurnal yang meneliti kegunaan limbah kulit buah jeruk manis sebagai fortifikasi pada selai, perisa alami, dan pengganti sodium fosfat. Produksi selai pada umumnya hanya menggunakan daging buah saja. Padahal kulit buah jeruk manis juga memiliki aroma dan rasa dari buah tersebut. Berdasarkan penelitian Teixeira *et al.* (2020) penambahan kulit buah jeruk manis hingga 8% pada selai jeruk memiliki tingkat penerimaan yang sama dengan produk standar. Di sisi lain, penambahan tersebut memberikan peningkatan sifat fisikokimia, dan profil nutrisi selai secara keseluruhan, terutama senyawa fenolik, dan kapasitas antioksidan. Penambahan yang terlalu banyak dapat mengurangi karbohidrat, dan bahkan secara negatif mempengaruhi warna, aroma, rasa dan parameter tekstur pada selai. Hal ini dikarenakan senyawa flavonoid pada kulit buah jeruk manis seperti hesperidin, dan flavon polimetoksilasi bertanggung jawab terhadap rasa pahit yang ada (Kiefl *et al.*, 2017). Senyawa volatil pada kulit buah jeruk manis seperti limonene, dan myrcene dapat mengubah aroma produk. Atribut seperti warna dapat berubah karena karotenoid yang terkandung pada kulit buah jeruk manis, dan dilaporkan bahwa perubahan warna tersebut dapat mengurangi penerimaan konsumen (Abdelaali *et al.*, 2018). Kulit buah jeruk manis juga mengandung serat yang dapat meningkatkan kapasitas air retensi cairan, dan meningkatkan gelatinisasi, sehingga konsistensi selai meningkat (Arioui *et al.*, 2017).

Berdasarkan kodeks bahan kimia makanan di United States Pharmacopeia (USP), minyak esensial atau minyak atsiri dideskripsikan sebagai agen perasa. Minyak

esensial mengandung monoterpena seperti *limonene*, dan *α -pinene* yang memberikan aroma *citrus*, serta *nootkatone*, dan *valencene* yang memberikan aroma citrus, dan rasa pahit (Shaghaleh *et al.*, 2018). Linalool dilaporkan merupakan alkohol dalam minyak esensial terpenting yang memberikan aroma manis, dan floral. Selain itu, terdapat berbagai aldehid seperti decanal, oktanal, serta nonanal yang juga mempengaruhi kualitas aroma maupun rasa dari kulit buah jeruk manis (Sawamura, 2011). Dalam mengekstraksi minyak esensial tersebut, diperlukan ekstraksi dengan suhu yang tepat agar tidak didapati bau dan *off-flavour* (Shaghaleh *et al.*, 2018). Minyak esensial yang terekstrak ini dapat digunakan sebagai perisa alami pada berbagai bahan pangan.

Dalam beberapa tahun terakhir, banyak konsumen yang skeptis terhadap zat aditif pada produk makanan, dan menganggap bahwa zat tersebut tidak sehat atau berbahaya (Asioli *et al.*, 2017). Berdasarkan regulasi USDA (2022), perlu adanya penghilangan atau pengurangan zat aditif pada makanan agar dapat disebut sebagai produk "*clean label*". Sodium fosfat berfungsi sebagai zat aditif makanan pada daging olahan yang memiliki maksimal penggunaan 0,5% untuk menjaga retensi air, tekstur, dan sifat sensorik dari bahan tersebut (USDA, 2022). Sodium fosfat adalah gabungan dari garam dan fosfat. Senyawa tersebut berfungsi untuk meningkatkan pH dan kekuatan ionik pada sistem, sehingga menyebabkan pembengkakan myofibrillar dan menambah kapasitas mengikat air (Magalhães *et al.*, 2020). Kulit buah jeruk manis merupakan suatu bahan alami yang mengandung serat dan pektin dalam jumlah yang tinggi. Serat ini dapat membuat jaringan gel saat dihidrasi dengan air. Berdasarkan hal tersebut, maka dapat dilihat bahwa serat kulit buah jeruk memiliki kemungkinan untuk menjaga retensi air dan tekstur pada bahan daging olahan (Lundberg *et al.*, 2014). Berdasarkan penelitian Powell *et al.* (2019) serat dari kulit buah jeruk berpotensi menjadi alternatif campuran dari sodium fosfat dalam konsentrasi tertentu, namun tidak dapat menggantikan fungsinya keseluruhan. Hal ini dikarenakan penambahan serat kulit buah jeruk manis yang melebihi 0,75%, dapat merusak tekstur pada produk

daging olahan. Serat dari kulit buah jeruk tidak bersifat prooksidatif dan dapat bertindak sebagai antioksidan.

5.5.2. Peningkat *Shelf-life* Pada Bahan Pangan

Kulit buah jeruk manis mengandung senyawa flavonoid, fenolik, pektin, minyak esensial, dan antioksidan dalam jumlah yang tinggi. Senyawa tersebut dapat berperan dalam menjaga kualitas bahan pangan baik dari segi warna, tekstur, aroma, dan bahkan memperpanjang umur simpan bahan. Penelitian Dewi *et al.* (2019) mendapati bahwa ekstrak kulit buah jeruk memiliki aktivitas antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, dan *Salmonella typhi*. Senyawa fenolik dapat menghambat pembentukan dinding sel bakteri, senyawa flavonoid dapat merusak dinding sel bakteri, serta minyak esensial yang dapat mematikan bakteri dengan mengganggu proses pembentukan membran bakteri (Mehmood *et al.*, 2015). Berdasarkan fungsi tersebut, maka umur simpan bahan pangan dapat meningkat dengan penambahan ekstrak kulit buah jeruk manis sebagai pengawet bahan pangan alami. Hal ini juga didapati oleh penelitian Saleem & Saeed (2018), dimana ekstrak kulit buah jeruk manis ditemukan efektif melawan bakteri gram negatif, gram positif, dan berbagai mikroba lainnya. Aktivitas antimikroba tersebut didukung oleh keberadaan senyawa fenolik dan flavonoid dalam ekstrak kulit buah jeruk (Moreno *et al.*, 2013). Hal ini menjadikan ekstrak kulit buah jeruk manis dapat diolah menjadi obat antimikroba maupun antibiotik pada hewan maupun tumbuhan. Obat yang terbuat dari ekstrak kulit buah jeruk manis lebih aman digunakan dari pada obat konvensional. Minyak esensial dalam konsentrasi tinggi pada kulit buah jeruk manis dapat bekerja sebagai anti jamur dengan merusak membran sel yang menyebabkan kematian, serta mendenaturasi enzim yang memproduksi spora (Velázquez *et al.*, 2013). Di kondisi lain, minyak esensial juga dapat mengaktifkan lisozim, dan mieloperoksidase untuk meningkatkan imunitas dari varietas ikan (Acar *et al.*, 2015).

Edible coating adalah lapisan tipis yang terbuat dari protein, polisakarida, lemak, dan kombinasinya. Menurut Agdar *et al.* (2021) penggunaan lapisan *coating* yang

terbuat dari ekstrak kulit buah jeruk manis, dapat meningkatkan umur simpan fillet ikan dari 4 hari menjadi 12 hari masa penyimpanan. Hal ini dikarenakan lapisan *coating* yang terbuat dari ekstrak kulit buah jeruk manis, dapat menghambat oksidasi, dan mencegah kebusukan yang disebabkan oleh mikroba. Selain *coating*, ekstrak kulit buah jeruk manis juga dapat mencegah *browning* pada bahan pangan. *Browning* pada makanan disebabkan oleh aktivitas enzim tironase yang berlebihan. Berdasarkan penelitian Guo *et al.* (2020) ekstrak kulit buah jeruk manis memiliki aktivitas penghambatan tironase yang beragam, tergantung dengan jenis pelarut yang digunakan dalam proses ekstraksinya. Kandungan flavonoid seperti 4',5,6,7-tetramethoxyflavone, 3,3',4',5,6,7-hexamethoxyflavone, sinensetin, dan narirutin merupakan penghambat tironase utama pada ekstrak kulit buah jeruk manis (Bobo-Gracia *et al.*, 2015). Penghambatan *browning*, oksidasi, dan kebusukan pada bahan pangan, menjadikan bahan pangan tersebut memiliki umur simpan yang lebih lama.

5.5.3. Obat-obatan

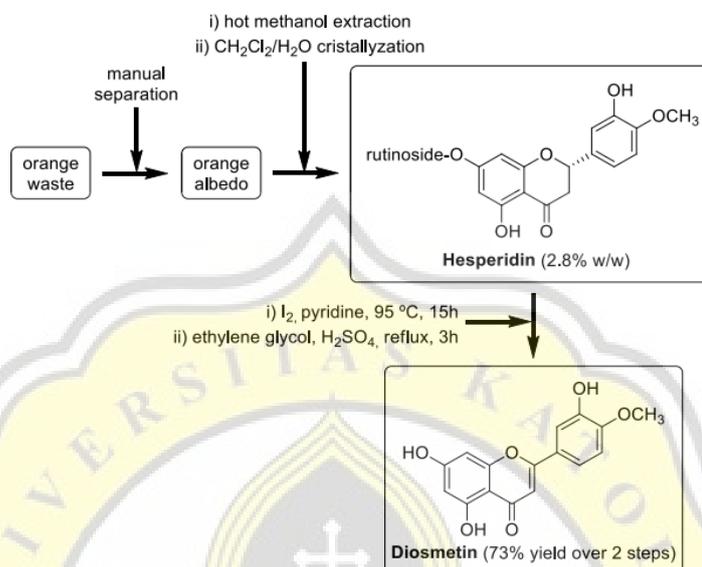
Senyawa bioaktif pada ekstrak kulit buah jeruk manis memiliki beragam fungsi dan khasiat. Selain berfungsi untuk hewan dan tumbuhan, senyawa bioaktif ini juga memiliki dampak positif terhadap tubuh manusia. Kanker merupakan penyakit mematikan bagi manusia, khususnya *Esophageal Carcinoma* (EC) yang merupakan kanker paling agresif. Salah satu treatment penyembuhannya yaitu menggunakan kemoterapi, dimana *Doxorubicin* (DOX) digunakan sebagai obat kemoterapi yang menghambat sel kanker. Sayangnya penggunaan DOX ini memiliki efek samping seperti menurunkan berat badan dengan signifikan (Hajjaji *et al.*, 2012). Penelitian Tajaldini *et al.* (2020) mendapati bahwa, ekstrak kulit buah jeruk manis dapat mengurangi ukuran tumor turunan ESCC, serta mengurangi efek samping dari DOX dengan mengurangi stress oksidatif dan menjaga berat badan dari tikus yang diuji. Pengurangan ukuran tumor dikarenakan aktivitas antioksidan dari flavonoid yang dapat menangkal radikal bebas, serta reaktif oksidatif stress. Hal ini menyebabkan peningkatan sistem imun, serta menekan peradangan dan apoptosis (Ahmed *et al.*, 2019). Fungsi

protektif terhadap stress oksidatif ini juga dapat menyebabkan pencegahan efek samping dari kemoterapi.

Senyawa bioaktif pada ekstrak kulit buah jeruk manis telah diuji oleh beberapa penelitian sebagai obat terapi penyakit diabetes melitus. Diabetes melitus 2 ditunjukkan dengan disfungsi sel beta pada pankreas, hiperglikemia, dan dislipidemia. Hal ini dapat diperparah dengan adanya paparan streptozotocin pada mamalia, dimana streptozotocin akan merusak sel beta, dan membuat ketidakseimbangan glikemik jangka panjang (Veerapur *et al.*, 2012). Sathiyabama *et al.* (2018) mendapati bahwa fenolik pada ekstrak kulit buah jeruk manis memberikan efek sensitisasi insulin pada tikus yang terkena diabetes dan terkena streptozotocin. Selain itu, ekstrak kulit buah jeruk manis juga dapat memberikan efek protektif pada struktur dan fungsi dari sel beta (β -cell). Selain diabetes melitus dan kanker, flavonoid pada ekstrak kulit buah jeruk manis terutama hesperidin dapat menjadi obat *anti-ulcer* atau obat ulkus. Menurut Bigoniya & Singh (2014), hesperidin dalam dosis tinggi efektif memberikan proteksi melawan indometasin yang menghasilkan ulserasi. Hesperidin bekerja dengan cara meningkatkan pH, dan menurunkan keasaman, serta indeks ulkus pada lambung. Pada saat yang bersamaan, hesperidin juga melindungi lapisan mukosa, serta mengurangi kerusakan jaringan kelenjar dinding lambung (Bigoniya & Singh, 2014).

Diosmetin merupakan bioflavonoid yang dapat bekerja sebagai anti-kanker, antimikroba, dan anti-inflamasi. Senyawa ini dapat ditemukan di berbagai macam tumbuhan dalam jumlah konsentrasi yang rendah, sehingga diosmetin bernilai jual tinggi. Berdasarkan uji yang dilakukan oleh Victor *et al.* (2021) hesperidin pada ekstrak kulit buah jeruk manis dapat diolah menjadi diosmetin dengan metode tertentu. Sintesis diosmetin dilakukan dengan penambahan iodin pada ekstrak hesperidin dalam piridin kering. Kemudian campuran tersebut dipanaskan, dan dicuci. Hasil cucian dilarutkan dalam etilen glikol, dan H_2SO_4 , lalu direflux.

Langkah terakhir yaitu purifikasi menggunakan pelarut etil asetat untuk mendapatkan diosmetin.



Gambar 1. Sintesis diosmetin
Sumber: (Victor *et al.*, 2021).

5.5.4. Kemasan

Plastik telah menjadi barang yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari. Jumlah produksi plastik tiap tahunnya sangat tinggi dan terus meningkat. Sisi negatif dari plastik yaitu sulitnya material tersebut untuk terurai. Hal ini tentu menyebabkan polusi tanah, dan air, yang berarti akan mengancam keberlangsungan keseluruhan ekosistem yang ada. Berdasarkan masalah tersebut, diciptakanlah *bioplastic* yang merupakan plastik berbahan dasar material organik yang membuat plastik tersebut mudah terurai. Menurut Yaradoddi *et al.* (2022) selulosa, dan pektin dari kulit buah jeruk manis dapat menjadi sumber asam karboksilat yang dibutuhkan dalam pembuatan *bioplastic*. Selain itu, pektin dan selulosa yang terkandung dari kulit buah jeruk manis dapat membentuk ikatan yang kuat, sehingga daya tahan plastik akan meningkat.