

4. PEMBAHASAN

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah buah jeruk keprok Malang yang masih mentah. Hal ini disebabkan karena pada buah yang belum matang lamella belum mengalami perubahan struktur menjadi lebih lunak yang disebabkan karena adanya gangguan pada pektin yang menyusun struktur tersebut. Buah jeruk merupakan salah satu sumber bahan pangan yang mengandung banyak pektin pada bagian juring atau lamella. Secara umum, pektin terdapat dalam dinding sel primer tanaman yaitu pada bagian sela-sela antara selulosa dan hemiselulosa. Pada bagian tanaman pektin memiliki fungsi sebagai perekat antara dinding sel yang satu dengan yang lain. Sedangkan bagian antara dua dinding sel yang saling berdekatan disebut dengan lamella tengah (Winarno, 2004).

Pektin dibagi menjadi 2 macam berdasarkan kandungan metoksilnya yaitu pektin metoksil tinggi (HMP) dan pektin metoksil rendah (LMP). Pektin dikatakan tergolong dalam *high methoxyl pectin* (HMP) jika lebih dari 50% gugus karboksil dimetilasi. Sedangkan pektin yang tergolong dalam *low methoxyl pectin* (LMP) kurang dari 50% yang dimetilasi. Dimetilasi merupakan proses penurunan kadar metoksil pada pektin. Pada penelitian ini dilakukan ekstraksi pektin dengan menggunakan suhu tinggi yaitu 95⁰C dan dalam kondisi asam. Tujuan dari ekstraksi pektin dengan menggunakan suhu tinggi dan kondisi asam adalah untuk memperoleh pektin dengan kandungan metoksil yang rendah. Pada limbah pertanian lebih banyak ditemukan pektin jenis HMP. Pektin jenis HMP akan membentuk gel pada pH rendah dan gel yang terbentuk mudah larut dalam air, sehingga pektin jenis ini tidak dapat berperan sebagai adsorben logam berat. Jenis pektin yang dapat digunakan sebagai adsorben yaitu pektin jenis LMP karena kadar metoksil pektin rendah yaitu kurang dari 7% sehingga pembentukan gelnya semakin berkurang. Pektin jenis LMP memiliki beberapa kelebihan yaitu sebagai *gelling agent* pada produk selai rendah gula, biosorben logam berat dan senyawa anti kanker (Kurniasari *et al*, 2012).

Pada proses ekstraksi pektin dilakukan beberapa tahapan yaitu persiapan bahan, ekstraksi, pengendapan, pencucian dan pengeringan. Selain menggunakan suhu tinggi,

pada ekstraksi pektin secara umum menggunakan ekstraksi asam. Beberapa jenis asam yang dapat digunakan pada ekstraksi pektin yaitu asam sulfat, asam klorida dan asam nitrat. Penggunaan asam bertujuan untuk memutus ikatan asam pektinat dengan selulosa, memisahkan ion polivalen, menghidrolisa protopektin agar menjadi molekul dengan ukuran yang lebih kecil serta menghidrolisa gugus metil ester pektin (Kertesz, 1951).

Pektin yang diperoleh dari hasil ekstraksi adalah pektin metoksil rendah yang memiliki kemampuan dalam berikatan dengan senyawa logam. Pada pektin terdapat kandungan gugus fungsional seperti karboksil, hidroksil dan metoksil. Gugus fungsional dalam pektin memiliki peran dalam proses adsorpsi logam berat. Pengikatan logam berat oleh pektin terjadi ketika gugus karboksilat dan hidroksil memiliki pasangan elektron bebas sehingga kation logam akan tertarik dan berikatan membentuk suatu ikatan kompleks pektin dan logam (Eliaz *et al.*, 2007). Pektin metoksil rendah yang bermuatan negatif dapat berikatan dengan kation logam yang bermuatan positif dan membentuk *cross-link*. Jenis *divalent cation* akan berikatan dengan pektin metoksil rendah melalui mekanisme *eeg-box* (Khotimchenko *et al.*, 2012).

4.1. Penentuan Konsentrasi Gel Pektin dalam Cookies

Pada penelitian pendahuluan dilakukan uji sensori untuk memperoleh konsentrasi terbaik substitusi gel pektin dalam *cookies*. Tujuan uji sensori dalam penelitian ini yaitu untuk mengetahui tingkat penerimaan konsumen terhadap karakteristik *cookies* yang telah disubstitusi dengan gel pektin. Menurut Prihatin (2015), substitusi gel pektin ke dalam produk *cookies* dapat mempengaruhi karakteristik fisik produk seperti warna, ukuran, ketebalan dan tekstur *cookies*. Penambahan gel pektin pada *cookies* akan memberikan warna yang lebih cerah jika konsentrasi gel pektin semakin besar. Hal ini disebabkan karena total protein dalam *cookies* mengalami penurunan sehingga akan mengurangi terjadinya reaksi Maillard. Penurunan total protein dalam *cookies* dapat disebabkan karena pada bahan baku pektin tidak banyak mengandung protein.

Selain itu semakin besar konsentrasi gel pektin yang ditambahkan ke dalam *cookies* maka akan terjadi penyusutan ukuran serta tekstur *cookies* yang menjadi lebih keras.

Hal ini disebabkan karena pektin memiliki sifat pembentuk gel yang juga banyak dimanfaatkan sebagai pengental dalam produk *jelly* atau selai (Winarno, 2004). Semakin banyak gel pektin yang di substitusikan dalam *cookies* maka penyebaran dan ketebalan *cookies* akan semakin berkurang. Menurut Prihatin (2015), penambahan gel pektin pada konsentrasi 30% sudah sangat mempengaruhi penyebaran dan ketebalan *cookies*. Hal ini menunjukkan bahwa pektin tidak dapat memberikan retensi gas yang sama sebagai *shortening*.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari uji sensori menunjukkan bahwa penambahan pektin dalam *cookies* sangat mempengaruhi tekstur. Hal ini ditunjukkan dengan tingkat kesukaan konsumen yang mengalami penurunan seiring dengan peningkatan konsentrasi gel pektin. Nilai rata-rata tingkat kesukaan *cookies* berdasarkan tekstur diperoleh nilai terbesar 3,67 pada konsentrasi 10%. Kemudian diikuti dengan konsentrasi 20% yaitu 3,3. Berdasarkan uji signifikansi Mann-Whitney menunjukkan bahwa pada konsentrasi 10% dan 20% memiliki hubungan yang tidak berbeda nyata pada tingkat kepercayaan 95%. Sedangkan nilai rata-rata tingkat kesukaan *cookies* berdasarkan tekstur diperoleh nilai terendah yaitu 2,6 pada konsentrasi 50%. Berdasarkan uji signifikansi Mann-Whitney menunjukkan bahwa pada konsentrasi 10% dan 50% memiliki hubungan yang berbeda nyata pada tingkat kepercayaan 95%. Pada uji signifikansi Mann-Whitney, hubungan antara konsentrasi 10% dan 30% menunjukkan tidak berbeda nyata namun berdasarkan rata-rata tingkat kesukaan konsumen menunjukkan rata-rata pada konsentrasi 20% lebih besar daripada konsentrasi 30%. Berdasarkan hal ini dapat disimpulkan bahwa konsumen lebih menyukai tekstur *cookies* dengan penambahan konsentrasi pektin sebesar 10%-20%, sehingga pada penelitian utama digunakan konsentrasi gel pektin sebesar 10%, 15% dan 20%. Hal ini juga didukung dari perolehan hasil rata-rata berdasarkan *overall*. Pada konsentrasi 10% menunjukkan rata-rata tingkat kesukaan konsumen sebesar 4,1 dan diikuti dengan konsentrasi 20% yaitu 3,9. Berdasarkan uji signifikansi Mann-Whitney menunjukkan bahwa pada konsentrasi 10% dan 20% memiliki hubungan yang tidak berbeda nyata pada tingkat kepercayaan 95%.

4.2. Penyerapan Logam Kadmium (Cd)

Pada penelitian utama dilakukan uji penyerapan logam dengan pektin ampas jeruk keprok yang telah tercampur dengan bahan lainnya. Pada penelitian utama ini digunakan tiga konsentrasi gel pektin yang berbeda yaitu 10%, 15% dan 20% dengan tujuan untuk mengetahui pada konsentrasi berapa pektin yang telah bercampur dengan bahan lain efektif dalam menyerap logam berat. Berdasarkan Tabel 3, jumlah logam Cd yang dapat diserap oleh fase tidak larut memiliki hubungan berbanding lurus dengan konsentrasi pektin. Semakin tinggi konsentrasi pektin maka jumlah Cd yang diserap oleh fase tidak larut akan semakin besar. Pada konsentrasi 10% terdapat $25,977 \pm 1,989$ μg Cd yang dapat diserap oleh fase tidak larut. Kemudian pada konsentrasi 15% terdapat peningkatan jumlah kandungan Cd sebesar $26,742 \pm 6,937$ μg . Pada konsentrasi 20% terdapat jumlah kandungan Cd terbesar yang diserap oleh fase tidak larut yaitu $37,187 \pm 7,021$ μg . Hal ini dapat disebabkan karena pada fase tidak larut terdiri dari pektin yang mengandung gugus aktif yaitu gugus karboksil yang memiliki pasangan elektron bebas terhadap kation logam sehingga kation logam dapat berikatan membentuk kompleks logam dan pektin (Bana, 2014).

Pada fase terlarut memiliki hubungan yang berbanding terbalik dengan konsentrasi pektin. Pada konsentrasi 10% diperoleh jumlah kandungan Cd terbesar yaitu $201,038 \pm 15,027$ μg . Kemudian pada konsentrasi 15% mengalami penurunan kandungan Cd sebesar $200,336 \pm 11,582$ μg dan pada konsentrasi 20% diperoleh jumlah kandungan Cd terendah yaitu $198,285 \pm 20,715$ μg . Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan kandungan Cd seiring dengan penambahan pektin yang lebih banyak. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah pektin yang ditambahkan maka kemampuan pektin dalam menyerap Cd akan semakin berkurang. Hal ini dapat disebabkan karena penambahan pektin yang semakin banyak akan mengakibatkan larutan menjadi lebih kental dan ikatan antara gugus karboksil menjadi sulit terlepas dan tidak dapat mengikat Cd dengan baik serta mengakibatkan logam Cd yang terserap hanya sedikit (Bana, 2014).

Selain itu, penurunan jumlah kandungan logam Cd seiring dengan penambahan konsentrasi pektin yang semakin banyak dapat disebabkan oleh adanya kejenuhan

larutan. Kejenuhan larutan dapat mempengaruhi kemampuan penyerapan pektin terhadap logam Cd. Pada waktu kontak, kemungkinan air dalam larutan tersebut diserap lebih banyak oleh pektin daripada ion-ion logam Cd. Hal ini dapat mengakibatkan larutan jenuh, larutan Cd dan pektin yang terbentuk kemungkinan merupakan larutan jenuh karena semakin banyak konsentrasi pektin yang ditambahkan maka tingkat kejenuhan yang terbentuk akan semakin tinggi. Larutan jenuh tersebut dapat mempengaruhi sifat stabilitas kompleks pektin, dimana energi penstabil ionik pada struktur pektin mempengaruhi kecenderungan untuk membentuk senyawa kompleks dari suatu senyawa logam sehingga terjadi pertukaran ion antara pektin dan senyawa logam (Ina *et al*, 2014).

Berdasarkan Tabel 3. dapat dilihat hasil penyerapan Cd yang terserap oleh pektin jeruk keprok dengan tingkat konsentrasi yang berbeda. Pada fase tidak larut, semakin tinggi konsentrasi pektin maka penyerapan Cd akan semakin besar. Penyerapan Cd terbesar pada fase tidak larut yaitu pada konsentrasi pektin 20% sebesar $9,297 \pm 5,570\%$. Sedangkan pada fase terlarut, semakin tinggi konsentrasi pektin maka penyerapan Cd akan semakin kecil. Penyerapan Cd terbesar pada fase terlarut terdapat pada konsentrasi pektin 10% yaitu $50,259 \pm 3,757\%$. Hasil penyerapan Cd yang tidak mendekati 100% pada penelitian ini dapat disebabkan karena adanya *error* pada alat yang digunakan serta piranti pendeteksi dan terdapat kadmium yang tertinggal atau menempel di alat.

4.3. Penyerapan Logam Tembaga (Cu)

Pada penelitian utama dilakukan uji kemampuan penyerapan logam Cu oleh pektin jeruk keprok yang telah bercampur dengan bahan lainnya. Berdasarkan hasil penelitian jumlah kandungan Cu pada fase tidak larut diperoleh jumlah kandungan Cu terbesar pada konsentrasi pektin 15% yaitu $55,545 \pm 8,658 \mu\text{g}$. Sedangkan jumlah kandungan Cu terendah pada konsentrasi pektin 10% yaitu $36,516 \pm 4,643 \mu\text{g}$. Jumlah kandungan Cu yang dapat diserap oleh pektin mengalami peningkatan pada konsentrasi 15%, kemudian pada konsentrasi 20% jumlah kandungan Cu yang dapat diserap oleh pektin mengalami penurunan menjadi $51,702 \pm 7,029 \mu\text{g}$. Menurut Krismastuti *et al* (2008), semakin banyak adsorben yang digunakan maka jumlah zat yang terserap pun juga akan semakin banyak. Hasil penelitian yang diperoleh tidak sesuai dengan teori yang ada, hal

ini dapat disebabkan karena larutan dengan konsentrasi pektin yang lebih tinggi sudah menjadi lebih kental sehingga ikatan antara gugus karboksil sulit terlepas dan tidak dapat mengikat logam.

Pengikatan logam Cu oleh pektin ampas jeruk keprok dapat dipengaruhi oleh tingkat kelarutan antara pektin dan larutan Cu. Kelarutan merupakan kemampuan suatu zat terlarut untuk larut dalam suatu pelarut. Pada fase terlarut diperoleh kandungan Cu tertinggi pada konsentrasi pektin 10% yaitu $133,345 \pm 16,591 \mu\text{g}$. Kemudian pada konsentrasi pektin 15% mengalami penurunan jumlah kandungan Cu yaitu $108,681 \pm 21,846 \mu\text{g}$. Pada konsentrasi pektin 20% diperoleh jumlah kandungan Cu yang paling rendah yaitu $105,175 \pm 16,093 \mu\text{g}$. Hubungan antara jumlah kandungan Cu yang terserap oleh pektin dengan konsentrasi pektin adalah berbanding terbalik. Penambahan konsentrasi pektin diikuti dengan penurunan jumlah kandungan Cu yang terserap oleh pektin. Hal ini dapat disebabkan karena larutan jenuh. Larutan jenuh merupakan larutan yang telah mengandung zat terlarut dalam jumlah maksimal sehingga sudah tidak dapat ditambahkan zat terlarut lagi (Ina *et al*, 2014).

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat hasil penyerapan logam Cu oleh pektin jeruk keprok dengan 3 tingkat konsentrasi yang berbeda yaitu 10%, 15% dan 20%. Pada fase tidak terlarut, penyerapan Cu terbesar terdapat pada konsentrasi pektin 15% yaitu $27,772 \pm 4,329\%$. Sedangkan pada fase terlarut, penyerapan Cu terbesar terdapat pada konsentrasi pektin 10% yaitu $66,673 \pm 8,295\%$. Berdasarkan penyerapan Cu dalam fase tidak terlarut, penyerapan Cu pada konsentrasi 15% mengalami peningkatan kemudian mengalami penurunan penyerapan Cu pada konsentrasi 20%. Hal ini dapat disebabkan karena pada saat memindahkan bagian fase tidak terlarut ada yang masih tertinggal di tabung sentrifuge, sehingga penyerapan Cu pada konsentrasi 15% menjadi lebih besar daripada konsentrasi 20%.

Berdasarkan hasil penelitian utama, diperoleh hasil penyerapan logam Cu oleh pektin ampas jeruk keprok lebih besar daripada penyerapan logam Cd. Hal ini dapat disebabkan karena adanya perbedaan kekuatan interaksi antar logam terhadap gugus hidroksil pada pektin. Ion logam Cu tergolong dalam asam madya dan memiliki tingkat

elektronegatifitas yang lebih tinggi daripada ion logam Cd yang tergolong dalam asam lemah. Hal ini menyebabkan tingkat kestabilan pengikatan pada ion logam Cu oleh pektin menjadi lebih tinggi daripada pengikatan pada ion logam Cd. Hal ini juga didukung oleh penelitian yang telah dilakukan oleh Mata *et al* (2009), hasil laju biosorpsi logam berat dengan pektin mengikuti susunan $\text{Cu}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Cd}^{2+}$. Mekanisme biosorpsi logam berat disebabkan adanya pertukaran ion dan pembentukan kompleks ion logam dan ion kalsium yang berikatan pada gugus karboksil gel pektin. Selama proses penyerapan, ion logam berat akan menggantikan kalsium pada gel, sehingga akan terbentuk ikatan kompleks pektin dan ion logam berat.

4.4. Simulasi Konsumsi Pengikatan Logam Berat dalam Darah

Pada simulasi efektivitas konsumsi *cookies* yang diperkaya dengan pektin untuk menurunkan kadar Cd dan Cu dalam darah, dilakukan dengan mensimulasikan penurunan dari konsentrasi awal menuju konsentrasi aman berdasarkan model penurunan eksponensial (*exponential decay model*). Berdasarkan model tersebut dapat diprediksi waktu yang diperlukan untuk mencapai nilai konsentrasi aman dan waktu paruh berdasarkan tingkat konsumsi *cookies* yang berbeda. Waktu ini menunjukkan konsentrasi Cd dan Cu pada simulasi dibuat 3 kali lebih tinggi daripada konsentrasi aman dalam darah. Berdasarkan simulasi pengikatan logam Cd dan Cu, semakin banyak *cookies* yang dikonsumsi dalam sehari maka waktu paruh dan waktu untuk menuju batas aman akan semakin cepat. Hal ini disebabkan karena laju pengikatan logam Cd dan Cu per hari oleh pektin juga semakin meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah *cookies* yang dikonsumsi per hari berbanding terbalik dengan waktu untuk menuju batas aman serta waktu paruh.

Pada konsentrasi pektin 10% dan 15% menunjukkan laju pengikatan yang sama, karena hasil pengikatan Cd tidak berbeda jauh yaitu 56,754% dan 56,770%. Waktu paruh dan waktu untuk menuju batas aman tercepat yaitu pada konsentrasi pektin 20% dengan konsumsi *cookies* sebanyak 5 buah per hari. Waktu tercepat untuk menuju batas aman yaitu selama 485 hari dan waktu paruh tercepat yaitu selama 306 hari. Sedangkan pada simulasi pengikatan logam Cu, laju pengikatan Cu terbesar pada konsentrasi pektin 10% dengan konsumsi *cookies* 5 buah per hari yaitu 0,00327 per hari. Waktu paruh dan

waktu untuk menuju batas aman tercepat yaitu pada konsentrasi pektin 10% dengan konsumsi *cookies* sebanyak 5 buah per hari. Waktu tercepat untuk menuju batas aman yaitu selama 336 hari dan waktu paruh tercepat yaitu selama 212 hari.

