

3. HASIL PENGAMATAN

Pada penelitian pendahuluan bahan yang digunakan adalah pektin dari ampas jeruk. Ampas jeruk telah diberikan perlakuan pada suhu 55°C selama 10 jam. Pektin ampas jeruk yang telah jadi ditambahkan ke dalam produk *cupcake* dalam bentuk gel pektin. Penambahan konsentrasi gel pektin yang ditambahkan ke dalam produk *cupcake* dibagi ke dalam lima konsentrasi yaitu : 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%. Perbedaan konsentrasi pektin yang ditambahkan digunakan untuk mempersempit rentang konsentrasi gel pektin yang digunakan pada penelitian utama.

3.1. Penetapan Larutan Standar Logam dan Pengujian Sampel Bebas Kontaminan

SSA yang digunakan untuk mengukur kadar logam berat telah melewati proses standarisasi. Standarisasi dilakukan terhadap masing-masing jenis logam berat yang akan diukur kadarnya, yaitu kadmium (Cd) dan tembaga (Cu). Proses standarisasi masing-masing logam dilakukan dengan menggunakan tiga larutan yang memiliki konsentrasi berbeda yaitu 0,1 ppm (S₁), 0,5 ppm (S₂), 1,0 ppm (S₃). Bahan lain yang terlibat juga dilakukan pengukuran kadar logamnya sehingga mengetahui adanya pengotor. Hasil pengujian sampel bebas kontaminan logam berat kadmium (Cd) dan tembaga (Cu) dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 2. Kontaminan Logam Berat Kadmium (Cd) dan Tembaga (Cu)

Sampel	Kontaminan Logam (ppm)	
	Kadmium (Cd)	Tembaga (Cu)
<i>Cupcake</i> dengan konsentrasi pektin 10%	TT	TT
<i>Cupcake</i> dengan konsentrasi pektin 15%	TT	TT
<i>Cupcake</i> dengan konsentrasi pektin 20%	TT	TT
<i>Aquades</i>	TT	TT
Larutan <i>buffer</i>	TT	TT

Keterangan :

TT : Tidak terdeteksi (lebih kecil dari S₁)

Dari tabel diatas, dapat diketahui bahwa tidak ditemukan adanya logam pengotor pada bahan-bahan yang digunakan dalam sistem *in vitro*. Hasil ini menunjukkan bahwa

bahan-bahan yang terlibat bebas dari kontaminan pengotor sehingga tidak mempengaruhi hasil akhir dari pengukuran kadar logam berat. Adanya kadar logam pengotor digunakan sebagai faktor pengoreksi pada pengukuran kadar logam berat.

3.2. Penelitian Pendahuluan

Pada penelitian pendahuluan dilakukan uji sensori untuk menentukan konsentrasi pektin gel terbaik yang disubstitusikan ke dalam produk *cupcake*. Uji sensori ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kesukaan atau penerimaan konsumen terhadap karakteristik *cupcake* yang telah disubstitusi dengan gel pektin. Uji sensori ini didasarkan pada empat parameter yaitu tekstur, rasa, *aftertaste* dan *overall*. Semakin banyaknya gel pektin yang disubstitusikan ke dalam produk *cupcake* maka diameter dan tinggi dari produk *cupcake* akan menyusut. Selain itu, warna dari produk *cupcake* akan semakin cerah karena kandungan total protein semakin menurun sehingga reaksi Maillard ikut menurun.

Berdasarkan hasil uji sensori dapat dilihat perubahan karakteristik terhadap *cupcake* karena adanya penambahan gel pektin, yang dapat dilihat pada Gambar 6. Karakteristik *cupcake* yang telah disubstitusi oleh gel pektin didapatkan hasil yang sangat mempengaruhi pada tekstur *cupcake*, bila dibandingkan dengan rasa serta *aftertaste*. Hasil dari uji sensori menunjukkan dimana semakin tinggi konsentrasi gel pektin pada *cupcake* maka tingkat kesukaan konsumen semakin menurun.



Gambar 6a. Kontrol *Cupcake*

Gambar 6b. *Cupcake*
gel pektin 10%

Gambar 6c. *Cupcake*
gel pektin 20%



Gambar 6d. *Cupcake* gel pektin 30%

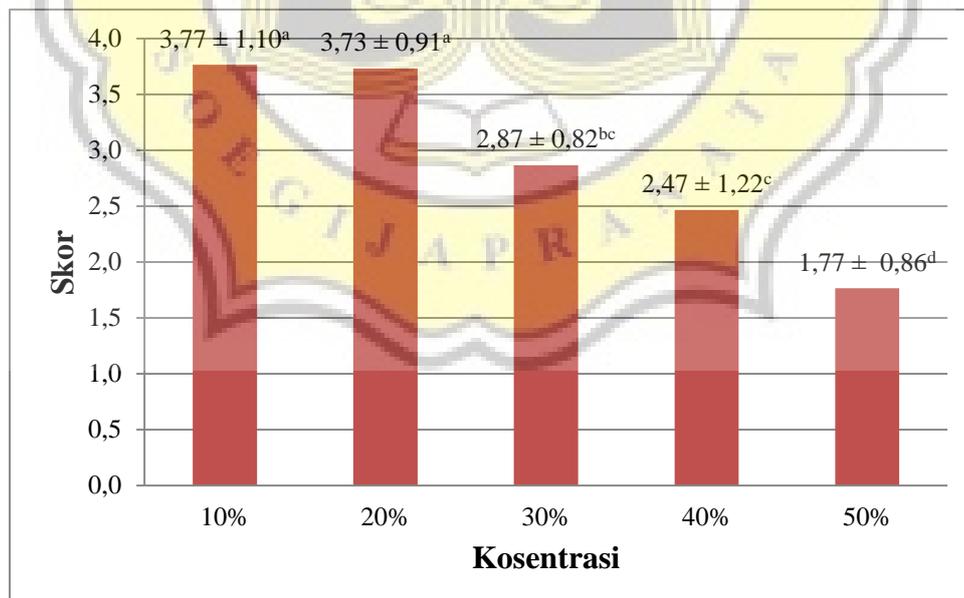


Gambar 6e. *Cupcake* gel pektin 40%



Gambar 6f. *Cupcake* gel pektin 50%

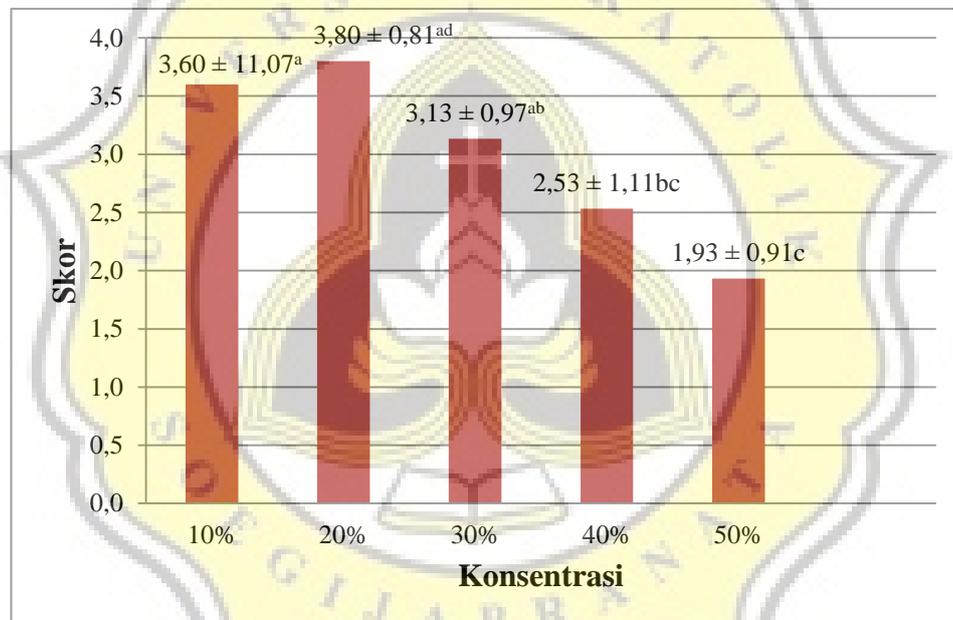
Nilai rata-rata tertinggi kesukaan konsumen berdasarkan tekstur *cupcake* adalah 3,77 yang berada pada tingkat konsentrasi gel pektin 10%. Nilai rata-rata keseluruhan pada parameter tekstur dapat dilihat pada Gambar 7. Berdasarkan hasil uji Mann-Whitney tidak terdapat perbedaan nyata skor sensori *cupcake* antara perlakuan gel pektin 10% dengan gel pektin 20%. Sedangkan pada hasil uji Mann-Whitney skor sensori *cupcake* antara perlakuan gel pektin 10% dengan gel pektin 30%, 40% dan 50% terdapat perbedaan nyata. Berdasarkan dari uji ini maka dapat disimpulkan bahwa konsumen lebih menyukai tekstur *cupcake* dengan penambahan gel pektin 10-20%. Konsentrasi yang dipilih ini akan digunakan lebih lanjut dalam penelitian utama.



Gambar 7. Hasil Uji Sensori Penelitian Pendahuluan Berdasarkan Parameter Tekstur

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa hasil uji sensori dengan parameter tekstur menunjukkan penambahan gel pektin pada tingkat konsentrasi 10-20% memiliki nilai rata-rata tertinggi dan hasilnya tidak terlalu jauh. Hasil uji Mann-Whitney menunjukkan tidak terdapat perbedaan nyata skor sensori *cupcake* antara perlakuan pektin gel 10% dengan pektin gel 20%. Berdasarkan hasil uji sensori maka pektin gel yang ditambahkan pada *cupcake* sebesar 10%, 15% dan 20%.

Hasil keseluruhan juga dilihat dari rata-rata tertinggi pada parameter *overall*. Pada parameter ini didapatkan hasil rata-rata tertinggi pada *cupcake* dengan konsentrasi gel pektin 20% diikuti dengan konsentrasi gel pektin 10% yaitu 3,80 dan 3,60. Hasil rata-rata pada parameter *overall* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil Uji Sensori Penelitian Pendahuluan Berdasarkan Parameter *Overall*

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa hasil uji sensori dengan parameter *overall* menunjukkan pada tingkat konsentrasi 20% memiliki nilai tertinggi. Maka dari pengujian sensori ini didapatkan bahwa pada tingkat konsentrasi 20% konsumen menerima *overall* dari produk *cupcake*. Berdasarkan uji Mann-Whitney, skor *cupcake* antarperlakuan pektin gel 10% dengan 20% tidak berbeda nyata. Dari hasil akhir pengujian sensori ini maka ditetapkan tingkat konsentrasi 10%, 15% dan 20% yang akan digunakan selanjutnya pada penelitian utama.

3.3. Penelitian Utama

Penambahan pektin ke dalam produk *cupcake* dibagi ke dalam tiga konsentrasi berbeda, yaitu: 10%, 15%, dan 20%. Jenis logam berat yang digunakan dalam penelitian utama adalah kadmium (Cd) dan tembaga (Cu). Metode kontak yang digunakan dalam penelitian utama dengan cara kontak langsung antara *cupcake* yang mengandung pektin ampas jeruk dengan *buffer*. Waktu kontak yang digunakan dalam sistem *in vitro* selama penelitian utama adalah 30 menit.

3.3.1. Total Penyerapan Logam Berat

Total penyerapan logam berat menunjukkan adanya optimasi penyerapan logam pada pektin dalam sistem *in vitro*. Perhitungan total penyerapan logam dilakukan untuk tiap jenis logam yang digunakan dalam penelitian ini.

- **Total Penyerapan Kadmium (Cd)**

Hasil penelitian utama berupa massa kadmium yang terserap dan total penyerapan logam yang diperoleh dari uji penyerapan kadmium dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. Penyerapan Kadmium pada Penelitian Utama

Konsentrasi pektin dalam <i>cupcake</i>	Distribusi Kadmium (%)	
	Fase terlarut (<i>soluble</i>)	Fase tidak terlarut (<i>insoluble</i>)
10%	44,925 ± 5,509 ^a	16,204 ± 4,902 ^a
15%	43,743 ± 9,770 ^a	14,347 ± 3,837 ^a
20%	46,023 ± 7,451 ^a	15,719 ± 4,787 ^a

Keterangan:

Analisa statistik menggunakan One Way Anova dengan uji signifikansi Duncan.

Pada kolom yang sama terdapat huruf berbeda menunjukkan beda nyata ($p < 0,05$). Adanya huruf yang sama pada kolom berbeda tidak saling berkaitan.

Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa adanya perbedaan tingkat konsentrasi pektin yang diberikan dalam *cupcake* menghasilkan hasil total penyerapan logam tidak berbeda nyata. Total penyerapan kadmium yang didapatkan dari tiga tingkat konsentrasi pektin yang berbeda menunjukkan bahwa pada *cupcake* dengan konsentrasi pektin 20% menghasilkan nilai total penyerapan kadmium tertinggi sebesar 61,129 ± 7,159%.

- **Total Penyerapan Tembaga (Cu)**

Hasil massa tembaga yang terserap dan total penyerapan logamtembaga yang diperoleh dari uji penyerapan tembaga dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. Penyerapan Tembaga pada Penelitian Utama

Konsentrasi pektin dalam <i>cupcake</i>	Distribusi Tembaga (%)	
	Fase terlarut (<i>soluble</i>)	Fase tidak terlarut (<i>insoluble</i>)
10%	73,593 ± 4,136 ^a	22,792 ± 1,341 ^a
15%	76,856 ± 2,173 ^{ab}	19,541 ± 0,829 ^b
20%	82,056 ± 3,528 ^b	15,626 ± 3,407 ^c

Keterangan:

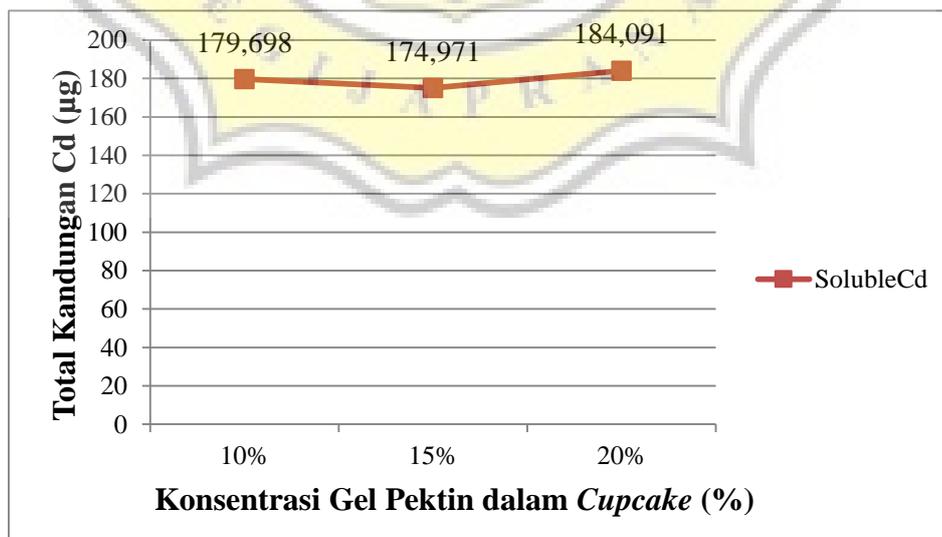
Analisa statistik menggunakan One Way Anova dengan uji signifikansi Duncan.

Pada kolom yang sama terdapat huruf berbeda menunjukkan beda nyata ($p < 0,05$). Adanya huruf yang sama pada kolom berbeda tidak saling berkaitan.

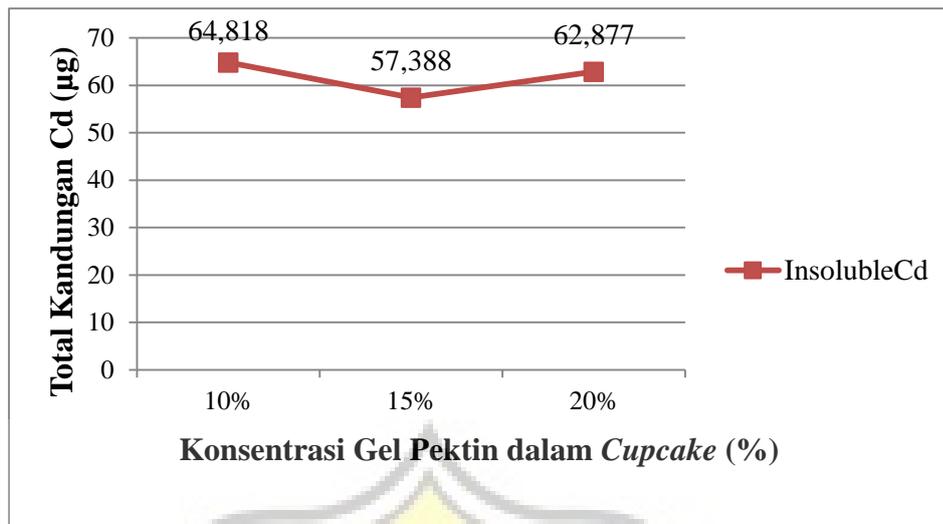
Dari tabel diatas menunjukkan hasil total penyerapan logam yang diperoleh dari kontak antara *cupcake* dengan tiga tingkat konsentrasi pektin didapatkan hasil yang tidak berbeda nyata. Nilai total penyerapan tembaga tertinggi ditunjukkan pada *cupcake* konsentrasi 20% sebesar $97,682 \pm 0,836\%$.

3.3.2. Penyerapan Kadmium (Cd) dalam sistem *In Vitro*

Hasil penyerapan logam kadmium oleh fase *soluble* dan *insoluble* pektin dalam sistem *in vitro* disajikan dalam gambar berikut.



Gambar 9a. Penyerapan Kadmium oleh Pektin pada Fase Terlarut (*Soluble*)



Gambar 9b. Penyerapan Kadmium oleh Pektin pada Fase Tidak Terlarut (*Insoluble*)

Dari Gambar 9a diatas, dapat dilihat bahwa pada fase terlarut (*soluble*) penyerapan kadmium tertinggi diperoleh pada *cupcake* dengan tingkat konsentrasi pektin 20% sebesar $184,091 \pm 29,805 \mu\text{g}$. Pada Gambar 9b menunjukkan penyerapan kadmium pada fase tidak terlarut (*insoluble*) tertinggi terdapat pada *cupcake* dengan konsentrasi pektin 10% sebesar $64,818 \pm 19,609 \mu\text{g}$.

Tabel 5. Penyerapan Kadmium pada Tiga Tingkatan Konsentrasi

Konsentrasi pektin dalam <i>cupcake</i>	Massa Kadmium (μg)	
	Fase terlarut (<i>soluble</i>)	Fase tidak terlarut (<i>insoluble</i>)
10%	$179,698 \pm 22,036^a$	$64,818 \pm 19,609^a$
15%	$174,971 \pm 39,081^a$	$57,388 \pm 15,346^a$
20%	$184,091 \pm 29,805^a$	$62,877 \pm 19,148^a$

Keterangan:

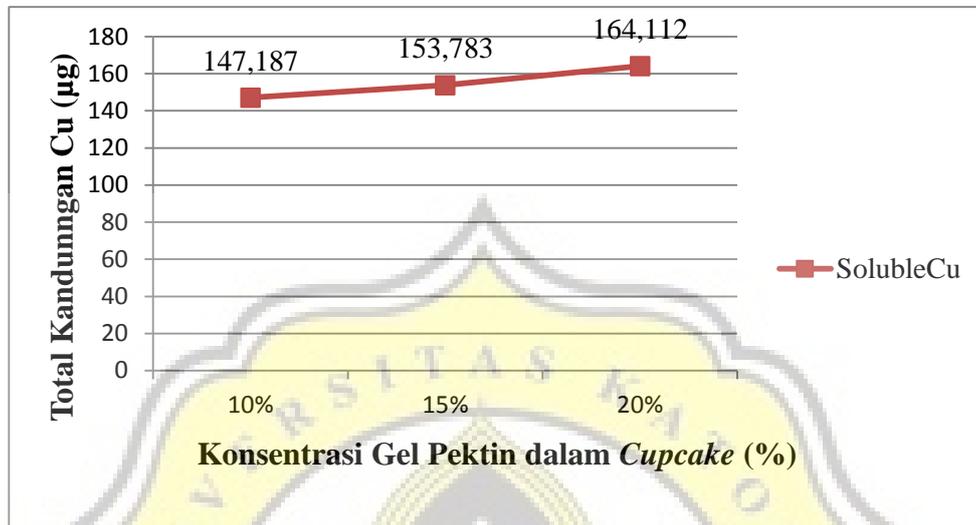
Analisa statistik menggunakan One Way Anova dengan uji signifikansi Duncan.

Pada kolom yang sama terdapat huruf berbeda menunjukkan beda nyata ($p < 0,05$). Adanya huruf yang sama pada kolom berbeda tidak saling berkaitan.

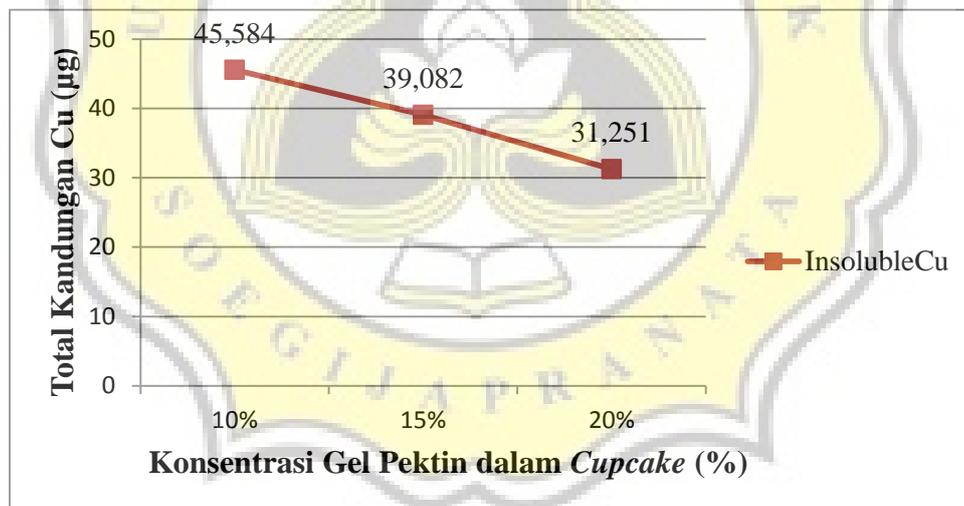
Pada Tabel 5 diatas menunjukkan penyerapan logam kadmium tertinggi pada fase terlarut (*soluble*) terdapat pada *cupcake* dengan konsentrasi pektin 20% sebesar $184,091 \pm 29,805 \mu\text{g}$. Nilai massa yang terserap dari ketiga konsentrasi pada fase terlarut (*soluble*) tidak berbeda nyata. Pada fase tidak terlarut (*insoluble*) *cupcake* dengan konsentrasi pektin 10% menunjukkan nilai penyerapan tertinggi yaitu $64,818 \pm 19,609 \mu\text{g}$.

3.3.3. Penyerapan Tembaga (Cu) dalam sistem *In Vitro*

Hasil penyerapan logam tembaga oleh fase *soluble* dan *insoluble* pektin dalam sistem *in vitro* disajikan dalam gambar berikut.



Gambar 10a. Penyerapan Tembaga oleh Pektin pada Fase Terlarut (*Soluble*)



Gambar 10b. Penyerapan Tembaga oleh Pektin pada Fase Tidak Terlarut (*Insoluble*)

Dari Gambar 10a menunjukkan bahwa pada fase terlarut (*soluble*) penyerapan jumlah tembaga mengalami peningkatan disertai peningkatan konsentrasi pektin. Penyerapan tembaga tertinggi terdapat pada *cupcake* dengan tingkat konsentrasi pektin 20% sebesar $164,112 \pm 7,057 \mu\text{g}$. Pada Gambar 10b, jumlah tembaga pada fase tidak terlarut

(*insoluble*) yang diserap mengalami penurunan seiring peningkatan konsentrasi pektin. Penyerapan tembaga tertinggi terdapat pada *cupcake* dengan konsentrasi pektin 10% sebesar $45,584 \pm 2,682\mu\text{g}$.

Tabel 6. Penyerapan Tembaga pada Tiga Tingkatan Konsentrasi

Konsentrasi pektin dalam <i>cupcake</i>	Massa Tembaga (μg)	
	Fase terlarut (<i>soluble</i>)	Fase tidak terlarut (<i>insoluble</i>)
10%	$147,187 \pm 8,272^a$	$45,584 \pm 2,682^a$
15%	$153,783 \pm 4,472^a$	$39,082 \pm 1,658^b$
20%	$164,112 \pm 7,057^a$	$31,251 \pm 6,813^c$

Keterangan:

Analisa statistik menggunakan One Way Anova dengan uji signifikansi Duncan.

Pada kolom yang sama terdapat huruf berbeda menunjukkan beda nyata ($p < 0,05$). Adanya huruf yang sama pada kolom berbeda tidak saling berkaitan

Dari tabel diatas menunjukkan penyerapan logam tembaga tertinggi pada fase terlarut diperoleh pektin dengan konsentrasi 20%, sebesar $164,112 \pm 7,057\mu\text{g}$. Angka tersebut berbeda nyata pada tingkat kepercayaan 95% dengan *cupcake* yang mengandung konsentrasi pektin 10% dan konsentrasi pektin 15% dengan nilai sebesar $147,187 \pm 8,272\mu\text{g}$ dan $153,783 \pm 4,472\mu\text{g}$. Penyerapan tembaga pada fase tidak terlarut menunjukkan nilai tertinggi pada pektin dengan konsentrasi 10%, sebesar $45,584 \pm 2,682\mu\text{g}$. Nilai massa yang terserap ini berbeda nyata pada tingkat kepercayaan 95% dengan *cupcake* yang mengandung konsentrasi pektin 15% dan konsentrasi pektin 20%, dengan nilai sebesar $39,082 \pm 1,658\mu\text{g}$ dan $31,251 \pm 6,813\mu\text{g}$.

3.4. Simulasi Pengikatan Logam Berat dalam Darah

3.4.1. Simulasi Pengikatan Kadmium dalam Darah

Kasus : Seorang laki-laki terkontaminasi oleh logam kadmium dan kontaminasi yang terjadi dalam darah sebesar $31,8 \mu\text{g}$. Batas aman kadmium dalam darah adalah $2 \mu\text{g/L}$ (Mayo Clinic, 2017). Pada simulasi ini diasumsikan tidak ada asupan kadmium lebih lanjut dan pengikatan hanya berlangsung sekali selama 30 menit. Jumlah pengikatan logam kadmium dalam darah dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 7. Pengikatan Kadmium dalam Darah

Konsentrasi Pektin dalam <i>Cupcake</i> (%)	Pengikatan Kadmium(%)	Konsumsi <i>Cupcake</i> (buah)	Model Matematika (Persamaan Eksponensial)	Laju Pengikatan (hari ⁻¹)	Waktu Paruh (hari), $t_{0,5}$	Waktu menuju konsentrasi aman (hari), t_{ka}
10	61,129	1	$X(t) = X_o \cdot e^{-0,00047t}$	0,00047	1473	2335
		2	$X(t) = X_o \cdot e^{-0,00094t}$	0,00094	736	1167
		3	$X(t) = X_o \cdot e^{-0,00141t}$	0,00141	491	778
15	58,090	1	$X(t) = X_o \cdot e^{-0,00045t}$	0,00045	1550	2457
		2	$X(t) = X_o \cdot e^{-0,00089t}$	0,00089	775	1228
		3	$X(t) = X_o \cdot e^{-0,00134t}$	0,00134	517	819
20	61,742	1	$X(t) = X_o \cdot e^{-0,00048t}$	0,00048	1458	2311
		2	$X(t) = X_o \cdot e^{-0,00095t}$	0,00095	729	1156
		3	$X(t) = X_o \cdot e^{-0,00143t}$	0,00143	486	770

Pada tabel di atas dapat diketahui bahwa untuk mencapai waktu paruh dan waktu menuju konsentrasi aman dibutuhkan tingkat konsumsi yang berbeda-beda. Jumlah konsumsi *cupcake* 3 buah/hari menunjukkan waktu paruh dan waktu menuju konsentrasi aman lebih baik bila dibandingkan dengan 1 *cupcake*/hari. Hal ini dikarenakan laju pengikatan kadmium semakin meningkat bersamaan dengan meningkatnya asupan *cupcake*. Pada asupan *cupcake* sebanyak 3 buah/hari dengan konsentrasi pektin gel 20% didapatkan waktu menuju konsentrasi aman dan waktu paruh lebih cepat yaitu 770 hari dan 486 hari. Pada *cupcake* yang mengandung pektin gel 20% menunjukkan *recovery* tertinggi sehingga bila dikonsumsi akan menurunkan kadar kadmium dalam darah lebih cepat dibandingkan dengan konsentrasi pektin gel 10% dan 15% karena laju pengikatannya semakin meningkat. Laju pengikatan terbesar terdapat pada *cupcake* dengan konsentrasi pektin gel 20% yaitu 0,00143 per hari dengan asupan *cupcake* 3 buah per hari.

3.4.2. Simulasi Pengikatan Tembaga dalam Darah

Kasus : seorang wanita terkontaminasi oleh logam tembaga dan paparan yang masuk ke dalam darah sebesar 23055 μg . Batas aman tembaga dalam darah adalah 1450 $\mu\text{g/L}$ (Mayo Clinic, 2017). Volume darah dalam tubuh yang dimiliki sebesar 5.3 L (Lynn, 1994). Pada simulasi ini diasumsikan tidak ada asupan tembaga lebih lanjut dan pengikatan hanya berlangsung sekali selama 30 menit. Jumlah pengikatan logam tembaga dalam darah dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 8. Pengikatan Tembaga(Cu) dalam Darah

Konsentrasi Pektin dalam Cupcake (%)	Pengikatan Tembaga(%)	Konsumsi Cupcake (buah)	Model Matematika (Persamaan Eksponensial)	Laju Pengikatan (hari ⁻¹)	Waktu Paruh (hari), t _{0,5}	Waktu menuju konsentrasi aman (hari), t _{ka}
10	96,385	1	$X(t) = X_0 \cdot e^{-0,00074t}$	0,00074	934	1481
		2	$X(t) = X_0 \cdot e^{-0,00148t}$	0,00148	467	740
		3	$X(t) = X_0 \cdot e^{-0,00223t}$	0,00223	311	494
15	96,397	1	$X(t) = X_0 \cdot e^{-0,00074t}$	0,00074	934	1480
		2	$X(t) = X_0 \cdot e^{-0,00148t}$	0,00148	467	740
		3	$X(t) = X_0 \cdot e^{-0,00223t}$	0,00223	311	493
20	97,682	1	$X(t) = X_0 \cdot e^{-0,00075t}$	0,00075	922	1461
		2	$X(t) = X_0 \cdot e^{-0,00150t}$	0,00150	461	730
		3	$X(t) = X_0 \cdot e^{-0,00226t}$	0,00226	307	487

Pada tabel 8 dapat diketahui tingkat asupan *cupcake* yang berbeda menentukan waktu paruh dan waktu menuju konsentrasi aman. Tingkat asupan *cupcake* 3 buah/hari menunjukkan waktu menuju konsentrasi aman dan waktu paruh lebih cepat dibandingkan dengan konsumsi *cupcake* 1 buah/hari. Peningkatan konsumsi *cupcake*/hari diikuti oleh meningkatnya laju pengikatan. Pada asupan *cupcake* sebanyak 3 buah/hari dengan konsentrasi pektin gel 20% didapatkan waktu menuju konsentrasi aman dan waktu paruh lebih cepat yaitu 487 hari dan 307 hari. Pada *cupcake* yang mengandung pektin gel 20% menunjukkan *recovery* tertinggi sehingga laju pengikatan juga semakin tinggi. Konsumsi *cupcake* tersebut akan menurunkan kadar tembaga dalam darah lebih besar dan lebih cepat dibandingkan dengan konsentrasi pektin gel 10% dan 15%. Laju pengikatan terbesar terdapat pada *cupcake* dengan konsentrasi pektin gel 20% yaitu 0,00226 per hari dengan asupan *cupcake* 3 buah per hari.

