

### 3. POTENSI UMBI YAKON SEBAGAI ALTERNATIF PEMANIS ALAMI

Seiring dengan perkembangan zaman, penggunaan pemanis rendah kalori sebagai pengganti gula semakin meningkat. Istilah pemanis mengacu pada bahan tambahan yang mampu meniru rasa manis dari gula dan memiliki kurang dari 3.8 kkal/gram dan atau digunakan dalam jumlah sedikit sehingga total kalori dapat diabaikan (Almeida *et al.*, 2016). Pemanis dapat diklasifikasikan menjadi pemanis alami dan pemanis buatan. Beberapa contoh pemanis alami adalah *maple syrup*, *agave nectar*, madu, dan lain-lain. Namun, pemanis alami yang banyak disukai karena memiliki indeks glikemik (IG) yang rendah adalah *lucuma* (*Pouteria obovata*) dan *yacon* (*Smallanthus sonchifolius*). Sementara dalam penggunaan pemanis buatan, sering kali terdapat banyak kontroversi karena resikonya sebagai potensi karsinogen. Beberapa contoh pemanis buatan adalah sakarin, siklamat, aspartam, sukralosa, dan lain-lain. Karena adanya resiko kesehatan pada pemanis buatan, masyarakat cenderung lebih banyak menggunakan pemanis alami karena tingkat keamanannya yang lebih tinggi (Das & Chakraborty, 2016). Pemanis yang baik harus memiliki nilai kalori yang rendah serta bebas dari efek samping berbahaya dan dapat digunakan dalam jangka panjang. Selain itu, pemanis tersebut harus tetap stabil dalam rentang suhu dan pH yang luas (Das & Chakraborty, 2016).

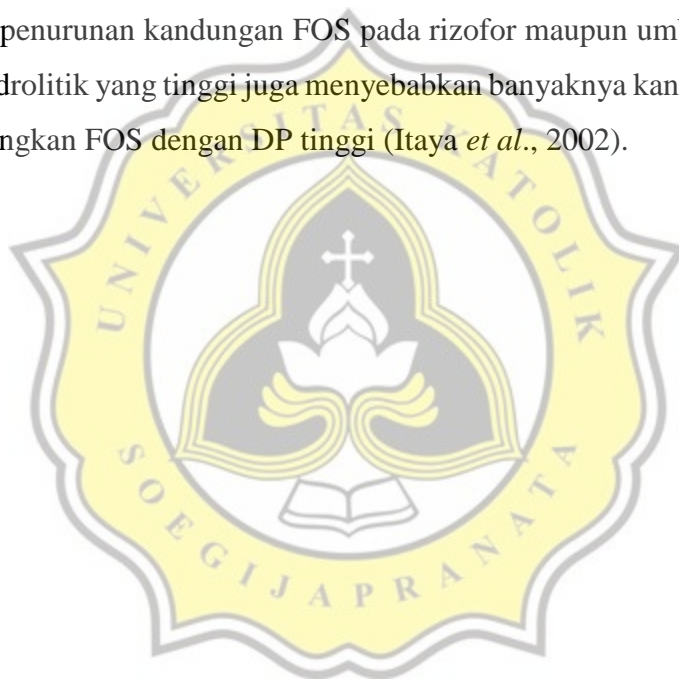
Fruktooligosakarida (FOS) diklasifikasikan sebagai oligosakarida yang tidak dapat dicerna dan memiliki derajat polimerisasi antara 3-10. FOS dapat digunakan dalam aplikasi di berbagai produk pangan sebagai pengganti gula karena memiliki karakteristik non toksik dan juga memiliki rasa yang manis (Alles *et al.*, 2015; Kanayama *et al.*, 2007). Senyawa FOS memiliki intensitas kemanisan yang rendah, yaitu sekitar 1/3 atau 0.3-0.6 kali dari senyawa sukrosa, bergantung pada struktur kimia dan derajat polimerisasi oligosakarida. Umumnya, intensitas kemanisan akan menurun seiring dengan pertambahan panjang dari rantai oligosakarida. Intensitas kemanisan FOS yang rendah sangat bermanfaat dalam menggantikan sukrosa karena sifat sukrosa yang memiliki intensitas kemanisan tinggi dan seringkali menimbulkan banyak efek samping yang kurang baik. Selain itu, senyawa FOS juga memiliki nilai kalori yang rendah yaitu sekitar 1.5-2.0 kkal/g yang merepresentasikan 40-50% dari sukrosa (Kumar *et al.*, 2018). Senyawa FOS dapat ditemukan pada berbagai

tanaman seperti yakon, *jerusalem artichoke*, *chicory*, *asparagus*, *burdock*, bawang bombay, dan bawang putih (Imahori *et al.*, 2010; Benkeblia, 2013; Satoh *et al.*, 2013). Namun, umbi yakon memiliki konsentrasi FOS paling tinggi apabila dibandingkan dengan tanaman lain yang juga mengandung FOS (Habib *et al.*, 2011; Kamp *et al.*, 2019). Kandungan fruktan (termasuk FOS) pada 4 kultivar yakon (Y42, Y43, Landsendt, dan Ohaupo) memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan *jerusalem artichoke*. Nilai kandungan fruktan pada 4 kultivar yakon (Y42, Y43, Landsendt, dan Ohaupo) secara berturut-turut sebesar 29; 32; 32; dan 24 g/100 g bahan kering, sementara kandungan fruktan pada *jerusalem artichoke* sebesar 23 g/100 g bahan kering (Douglas *et al.*, 2002). Selain itu, Jaime *et al.* (2001) juga melakukan penelitian mengenai kandungan FOS pada bawang bombay, yaitu sebesar 10.75 g/100 g bahan kering. Sementara, kandungan FOS pada bawang putih yaitu sebesar 5.51 g/100 g bahan kering (Cardelle-Cobas *et al.*, 2009). Berdasarkan data-data tersebut, dapat disimpulkan bahwa tanaman yakon memiliki konsentrasi FOS paling tinggi, dimana senyawa FOS yang ada pada tanaman yakon terkonsentrasi di bagian umbinya.

### **3.1. Pengaruh Perlakuan Pasca-panen Terhadap Kandungan FOS pada Umbi Yakon**

Yakon merupakan salah satu tanaman yang dapat dimanfaatkan sebagai alternatif pemanis alami karena adanya kandungan fruktooligosakarida (FOS) yang cukup tinggi pada bagian umbinya. Goto *et al.* (1995) dan Habib *et al.* (2011) menyatakan bahwa umbi yakon memiliki kandungan fruktan yang lebih tinggi dibandingkan kandungan pati, dimana oligosakarida yang terdapat pada umbi yakon merupakan fruktooligosakarida (oligofruktan jenis inulin) dengan ikatan  $\beta$  (2 $\rightarrow$ 1) dan memiliki terminal glukosa yang terhubung dengan fruktosa oleh ikatan  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 2). Pembentukan inulin dan FOS pada umbi yakon melibatkan aktivitas beberapa enzim seperti *sucrose:sucrose 1-fructosyl transferase* (1-SST) yang memproduksi 1-kestosa melalui transfer fruktosil dari donor ke akseptor sukrosa dan *fructan:fructan 1-fructosyl transferase* (1-FFT) yang berperan dalam perpanjangan akseptor fruktan melalui transfer residu fruktosil dari donor fruktan. Sementara itu, enzim *fructan 1-exohydrolase* (1-FEH) berperan dalam mengkatalisis pelepasan fruktosa bebas dan mempercepat proses hidrolisis FOS selama penyimpanan umbi yakon (Itaya *et al.*, 2002).

Enzim 1-SST bekerja membentuk GF<sub>2</sub> dengan merubah sukrosa menjadi GF<sub>2</sub> dan glukosa (2 sukrosa → GF<sub>2</sub> + glukosa). Range pH optimum aktivitas enzim 1-SST adalah 5.0-5.5. Sementara, enzim 1-FFT bekerja membentuk FOS dengan DP yang lebih tinggi menggunakan GF<sub>2</sub> sebagai donor gugus fruktosil dan sebagai akseptor (2 GF<sub>2</sub> → GF<sub>3</sub> + sukrosa). Range pH optimum aktivitas enzim 1-FFT adalah 5.5-6.0. Enzim 1-FEH menghidrolisis residu terminal fruktosa dari GF<sub>2</sub> (GF<sub>2</sub> → fruktosa + sukrosa) (Fukai *et al.*, 1997; Kanayama *et al.*, 2007). Dalam pertumbuhan organ aerial yakon, dibutuhkan suplai energi yang berasal dari fruktan yang disimpan pada bagian rizofor dan umbi yakon. Maka, fruktan yang berupa FOS akan dihidrolisis menjadi fruktosa dan sukrosa oleh enzim 1-FEH dan menyebabkan penurunan kandungan FOS pada rizofor maupun umbi yakon. Selain itu, adanya aktivitas hidrolitik yang tinggi juga menyebabkan banyaknya kandungan FOS dengan DP rendah dibandingkan FOS dengan DP tinggi (Itaya *et al.*, 2002).



**Tabel 1. Kandungan FOS pada Berbagai Kultivar Yakon**

No.	Kultivar/ Varietas Yakon	Perlakuan pasca-panen	Kandungan FOS (g/100 g bahan kering)	Kandungan GF <sub>2</sub> , GF <sub>3</sub> , dan GF <sub>4</sub> (g/100 g bahan kering)			Alat deteksi	Referensi
				GF2	GF3	GF4		
1	Clone LIEY97- 1	Dikeringkan pada suhu 40°C menggunakan <i>forced air circulation oven</i> dan dilakukan pengurangan kadar air pada suhu 60°C selama 2 jam, kemudian digiling menjadi tepung	42.1	12.2	8.6	4.6	HPLC-IR	Habib <i>et al.</i> , 2011
2	-	Dikeringkan pada suhu 40°C menggunakan <i>forced air circulation oven</i> dan dilakukan pengurangan kadar air pada suhu 60°C selama 2 jam, kemudian digiling menjadi tepung	44.2	5.6	8.4	7.6	HPLC-IR	Genta <i>et al.</i> , 2005
3	-	<i>Blanching</i> pada suhu 90°C selama 3 menit	14.5	-	-	-	HPLC	Nugrahani & Yuanita, 2019
4	Ekotipe Bolivia	Disimpan selama 140 hari pada suhu 10°C dan kelembaban relatif 75%	12.1	-	-	-	HPLC	Lachman <i>et al.</i> , 2004

5	-	Disimpan selama 2 hari pada suhu dan kelembaban ruang dengan cahaya redup	55.3	-	-	-	HPAEC-PAD	Lobo <i>et al.</i> , 2007
6	-	Disimpan selama 7 hari	25.13	5.30	6.43	13.39	HPLC	Yuanita <i>et al.</i> , 2018
7	-	Disimpan selama 14 hari	23.39	5.65	5.90	11.84	HPLC	Yuanita <i>et al.</i> , 2018
8	AJC 5189	Disimpan pada suhu -20°C	41.5	-	-	-	HPLC-IR	Campos <i>et al.</i> , 2012
9	DPA 07004	Disimpan pada suhu -20°C	37.5	-	-	-	HPLC-IR	Campos <i>et al.</i> , 2012
10	SAL 136	Disimpan pada suhu -20°C	38.2	-	-	-	HPLC-IR	Campos <i>et al.</i> , 2012
11	Yellow-Colomi	Diolah menjadi pasta yakon dan disimpan pada suhu -20°C	24	-	-	-	Metode enzimatik	Castro <i>et al.</i> , 2013
12	Yellow-Tiquipaya	Diolah menjadi pasta yakon dan disimpan pada suhu -20°C	33	-	-	-	Metode enzimatik	Castro <i>et al.</i> , 2013
13	Purple-Colomi	Diolah menjadi pasta yakon dan disimpan pada suhu -20°C	35.5	-	-	-	Metode enzimatik	Castro <i>et al.</i> , 2013

14	Purple-Luribay	Diolah menjadi pasta yakon dan disimpan pada suhu -20°C	29	-	-	-	Metode enzimatik	Castro <i>et al.</i> , 2013
15	-	Disimpan pada suhu -80°C	-	11	8	4	HPAEC-PAD	Fukai <i>et al.</i> , 1993
16	-	Disimpan dalam keadaan dingin selama 3 bulan	-	6	4.7	3.4	<i>Thin Layer Chromatography</i>	Ohyama <i>et al.</i> , 1990

**Keterangan:**

- = Tidak dijelaskan





Berdasarkan Tabel 1., dapat dilihat kandungan FOS pada umbi yakon dari berbagai kultivar atau varietas yakon yang berbeda-beda. Secara umum, perlakuan pasca-panen pada umbi yakon dapat dikelompokkan menjadi 2 perlakuan utama yaitu pemberian panas dengan suhu berbeda dan penyimpanan umbi yakon pada suhu dan jangka waktu berbeda. Penelitian Habib *et al.* (2011), Genta *et al.* (2005), dan Nugrahani & Yuanita (2019) memiliki perlakuan pasca-panen yang termasuk dalam kelompok pemberian panas dengan suhu dan waktu berbeda. Sementara penelitian lainnya memiliki perlakuan pasca-panen yang termasuk dalam kelompok penyimpanan umbi yakon pada suhu dan jangka waktu berbeda.

Pada penelitian Habib *et al.* (2011), digunakan varietas yakon Clone LIEY97-1 dengan menggunakan alat *High Performance Liquid Chromatography with Infrared* (HPLC-IR) dalam proses pendeteksian kandungan FOS pada umbi yakon. Kandungan FOS pada penelitian Habib *et al.* (2011) yaitu sebesar 42.1 g/100 g bahan kering. Pada penelitian Genta *et al.* (2005), tidak diketahui varietas yakon yang digunakan. Namun, disebutkan bahwa yakon yang digunakan dikultivasi di Argentina pada tahun 2003. Pendeteksian kandungan FOS dilakukan menggunakan alat HPLC-IR. Kandungan FOS pada penelitian Genta *et al.* (2005) yaitu sebesar 44.2 g/100 g bahan kering. Pada penelitian Nugrahani & Yuanita (2019), tidak diketahui varietas yakon yang digunakan. Pendeteksian kandungan FOS dilakukan menggunakan alat HPLC. Kandungan FOS pada penelitian Nugrahani & Yuanita (2019) yaitu sebesar 14.5 g/100 g bahan kering. Kandungan FOS pada penelitian Habib *et al.* (2011) dan Genta *et al.* (2005) tidak memiliki perbedaan yang signifikan karena keduanya memiliki perlakuan pasca-panen yang sama, dimana umbi yakon mengalami proses dehidrasi dengan mengeringkan umbi yakon pada suhu 40°C menggunakan *forced air circulation oven* dan dilanjutkan dengan pengeringan pada suhu 60°C selama 2 jam untuk mengurangi kandungan air. Proses dehidrasi dapat menjadi salah satu alternatif untuk menjaga stabilitas kandungan kimia dan memperpanjang umur simpan umbi yakon pada suhu ruang tanpa perubahan profil karbohidrat yang signifikan karena proses ini dapat meningkatkan stabilitas makanan dengan mengurangi aktivitas air serta meminimalisir perubahan secara fisik, kimiawi, maupun mikrobiologis selama penyimpanan. Selain itu, aktivitas enzim yang berperan dalam proses degradasi senyawa FOS juga dapat berkurang melalui proses dehidrasi. Proses dehidrasi

harus dilakukan sesegera mungkin setelah pemanenan untuk mencegah degradasi senyawa FOS lebih lanjut (Graefe *et al.*, 2004; Genta *et al.*, 2005; Scherr *et al.*, 2009). Sementara, pada penelitian Nugrahani & Yuanita (2019), umbi yacon mengalami perlakuan *blanching* pada suhu 90°C selama 3 menit dan memiliki kandungan FOS yang lebih rendah dibandingkan pada penelitian Habib *et al.* (2011) dan Genta *et al.* (2005). Hal ini dikarenakan selama proses *blanching*, senyawa FOS yang memiliki kelarutan tinggi dalam air (sekitar 80%) akan ikut terlarut sehingga kandungannya mengalami penurunan (Kumar *et al.*, 2018). Selain itu, kandungan FOS pada umbi yacon sebelum di*blanching* juga tidak terlalu tinggi, yaitu sekitar 22 g/100 g bahan kering. Sehingga, melalui proses *blanching* kandungan FOS mengalami penurunan sebanyak kurang lebih 7.5 g/100 g bahan kering.

Pada penelitian Lobo *et al.* (2007), tidak diketahui varietas yacon yang digunakan. Namun, disebutkan bahwa yacon yang digunakan dikultivasi di Brazil. Pendeteksian kandungan FOS dilakukan menggunakan alat *High Performance Anion Exchange Chromatography with Pulsed Amperometric Detection* (HPAEC-PAD). Perlakuan pasca-panen yang diberikan adalah dengan menyimpan umbi yacon selama 2 hari pada suhu dan kelembaban ruang dengan cahaya redup dan kemudian diolah menjadi tepung. Umumnya, suhu ruang berkisar antara 20-25°C. Kandungan FOS yang terdeteksi sebesar 55.3 g/100 g bahan kering. Pada penelitian Lachman *et al.* (2004), digunakan yacon dengan Ekotipe Bolivia dan pendeteksian kandungan FOS dilakukan dengan alat HPLC. Perlakuan pasca-panen yang diberikan adalah penyimpanan selama 140 hari pada suhu 10°C dan kelembaban relatif 75%. Kandungan FOS yang terdeteksi sebesar 12.1 g/100 g bahan kering. Pada penelitian Yuanita *et al.* (2018), tidak diketahui varietas yacon yang digunakan. pendeteksian kandungan FOS dilakukan menggunakan alat HPLC. Perlakuan pasca-panen yang diberikan adalah dengan menyimpan umbi yacon selama 7 hari dan 14 hari dengan kandungan FOS yang terdeteksi sebesar 25.13 g/100 g bahan kering dan 23.39 g/100 g bahan kering secara berturut-turut. Pada penelitian Campos *et al.* (2012), pendeteksian kandungan FOS dilakukan pada 3 varietas yacon berbeda menggunakan alat HPLC-IR. Perlakuan pasca-panen yang diberikan adalah penyimpanan pada suhu -20°C. Kandungan FOS yang terdeteksi sebesar 37-42 g/100 g bahan kering. Pada penelitian Castro *et al.* (2013), pendeteksian kandungan FOS dilakukan pada 4 varietas yacon



yang berbeda menggunakan metode enzimatis. Perlakuan pasca-panen yang diberikan adalah pengolahan menjadi pasta yakon dan kemudian disimpan pada suhu  $-20^{\circ}\text{C}$ . Kandungan FOS yang terdeteksi sebesar 24-33 g/100 g bahan kering. Kandungan FOS dari tertinggi ke terendah secara berturut-turut didapatkan dari penelitian Lobo *et al.* (2007), Campos *et al.* (2012), Castro *et al.* (2013), Yuanita *et al.* (2018), dan Lachman *et al.* (2004). Perbedaan kandungan FOS ini dipengaruhi oleh perbedaan perlakuan pasca-panen pada umbi yakon. Meskipun pada penelitian Lobo *et al.* (2007) dilakukan penyimpanan pada suhu yang cukup tinggi ( $20-25^{\circ}\text{C}$ ), namun penyimpanan hanya dilakukan selama 2 hari sehingga kandungan FOS pada umbi yakon masih berada pada konsentrasi yang cukup tinggi. Pada penelitian Yuanita *et al.* (2018), dilakukan penyimpanan selama 7 hari dan 14 hari tanpa keterangan kondisi penyimpanan lebih lanjut, namun penurunan kandungan FOS yang terjadi tidak signifikan. Pada penelitian Campos *et al.* (2012) dan Castro *et al.* (2013), dilakukan penyimpanan pada suhu yang jauh lebih rendah, yaitu  $-20^{\circ}\text{C}$ . Namun, kandungan FOS pada kedua penelitian tersebut memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan pada penelitian Lobo *et al.* (2007). Lama waktu penyimpanan pada kedua penelitian tersebut tidak diketahui, tetapi disebutkan bahwa penyimpanan dilakukan hingga yakon akan digunakan. Kemungkinan, yakon disimpan dalam jangka waktu yang cukup lama karena kandungan FOS lebih rendah daripada yakon yang disimpan pada suhu lebih tinggi. Sementara, kandungan FOS pada penelitian Lachman *et al.* (2004) memiliki nilai yang paling rendah karena jangka waktu penyimpanan yang lama, yaitu selama 140 hari ( $\pm 4.5$  bulan) pada suhu  $10^{\circ}\text{C}$ . Semakin tinggi suhu penyimpanan dan semakin lama jangka waktu penyimpanan, proses hidrolisis FOS pada umbi yakon akan semakin tinggi karena adanya aktivitas enzim 1-FEH (*fructan exohydrolase*) yang mengkatalisis reaksi hidrolisis FOS pada umbi yakon (Itaya *et al.*, 2002).

Pada penelitian Fukai *et al.* (1993), tidak diketahui varietas yakon yang digunakan. Namun, disebutkan bahwa yakon yang digunakan dikultivasi di lahan percobaan khusus pada bulan Mei-Juli 1992. Pendeteksian kandungan karbohidrat dilakukan menggunakan alat HPAEC-PAD. Perlakuan pasca-panen yang diberikan adalah penyimpanan pada suhu  $-80^{\circ}\text{C}$ . Pada penelitian Ohyama *et al.* (1990), tidak diketahui varietas yakon yang digunakan. Namun,

disebutkan bahwa yakon yang digunakan dikultivasi di lahan percobaan khusus pada tahun 1988. Pendeteksian kandungan karbohidrat dilakukan menggunakan alat *Thin Layer Chromatography* (TLC). Perlakuan pasca-panen yang diberikan adalah penyimpanan dalam keadaan dingin selama 3 bulan, namun tidak diketahui suhu yang digunakan. Kandungan FOS total pada penelitian Fukai *et al.* (1993) dan Ohyama *et al.* (1990) tidak terdeteksi, hanya kandungan GF<sub>2</sub>, GF<sub>3</sub>, dan GF<sub>4</sub> yang terdeteksi pada kedua penelitian tersebut. Kandungan GF<sub>2</sub>, GF<sub>3</sub>, dan GF<sub>4</sub> pada penelitian Fukai *et al.* (1993) sebesar 11; 8; dan 4 g/100 g bahan kering. Kandungan GF<sub>2</sub>, GF<sub>3</sub>, dan GF<sub>4</sub> pada penelitian Ohyama *et al.* (1990) sebesar 6; 4.7; dan 3.4 g/100 g bahan kering. Kandungan GF<sub>2</sub>, GF<sub>3</sub>, dan GF<sub>4</sub> pada kedua penelitian tersebut memiliki rentang nilai 3.4-11 g/100 g bahan kering. Apabila membandingkan kandungan GF<sub>2</sub>, GF<sub>3</sub>, dan GF<sub>4</sub> nya, nilai tertinggi diperoleh dari perlakuan pasca-panen dengan penyimpanan pada suhu -80°C dan nilai terendah diperoleh dari perlakuan pasca-panen dengan penyimpanan dalam keadaan dingin selama 3 bulan (suhu tidak diketahui). Semakin rendah suhu penyimpanan, umbi yakon lebih bisa mempertahankan kandungan GF<sub>2</sub>, GF<sub>3</sub>, dan GF<sub>4</sub> nya karena proses deteriorasi juga berlangsung lebih lambat. Menurut Alles *et al.* (2015), kandungan FOS pada umbi yakon akan mengalami penurunan selama penyimpanan pasca-panen meskipun sudah disimpan pada suhu rendah. Graefe *et al.* (2004) melakukan penelitian mengenai kondisi penyimpanan umbi yakon selama 12 hari pada suhu 15-25°C dalam ruangan gelap yang berventilasi. Hasil dari penelitiannya adalah kandungan FOS pada umbi yakon mengalami penurunan sebanyak 1/3 karena adanya hidrolisis rantai fruktosa. Namun, kandungan fruktosa dan glukosa selama penyimpanan semakin meningkat. Hal ini dapat terjadi karena adanya aktivitas enzim 1-FEH (*fructan exohydrolase*) yang mengkatalisis reaksi hidrolisis FOS pada umbi yakon (Itaya *et al.*, 2002).

Proses hidrolisis FOS pada umbi yakon selama penyimpanan akan semakin tinggi seiring dengan suhu penyimpanan yang semakin tinggi. Hal ini dibuktikan pada penelitian Jaime *et al.* (2001) yang meneliti bahwa hidrolisis FOS terbesar terjadi pada penyimpanan bawang di suhu 23-35°C. Imahori *et al.* (2010) juga menyatakan bahwa penyimpanan pada suhu yang semakin tinggi dengan jangka waktu penyimpanan semakin lama dapat mempercepat proses deteriorasi FOS. Penyimpanan pada suhu rendah (1-3°C) sangat disarankan untuk

mempertahankan kandungan FOS pada umbi yakon. Salah satu alternatif untuk menjaga stabilitas kandungan kimia dan memperpanjang umur simpan umbi yakon pada suhu ruang tanpa perubahan profil karbohidrat yang signifikan adalah dengan melakukan proses dehidrasi karena proses ini dapat meningkatkan stabilitas makanan dengan mengurangi aktivitas air serta meminimalisir perubahan secara fisik, kimiawi, maupun mikrobiologis selama penyimpanan (Genta *et al.*, 2005; Scher *et al.*, 2009).

Kandungan FOS pada umbi yakon sangat bervariasi meskipun terdapat beberapa perlakuan pasca-panen yang sama. Hal ini dapat disebabkan karena beberapa faktor seperti perbedaan kultivar, perbedaan lokasi, perbedaan kondisi lingkungan selama pertumbuhan yakon, perbedaan waktu pemanenan, perbedaan struktur kimia FOS (Derajat Polimerisasi). Dalam penelitian Campos *et al.* (2012), dilakukan pendeteksian kandungan FOS terhadap 35 kultivar yakon yang berbeda, dimana nilainya berkisar antara 6.4 g – 65 g/100 g bahan kering. Kandungan FOS tertinggi ditemukan pada kultivar AJC 5189 dengan nilai sebesar 65 g/100 g bahan kering, dan kandungan FOS terendah ditemukan pada kultivar AME 5186 dengan nilai sebesar 6.4 g/100 g bahan kering. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan kandungan FOS yang sangat bervariasi pada kultivar yakon yang berbeda-beda. Selain itu, perbedaan ketinggian selama penanaman yakon juga menjadi salah satu faktor yang menyebabkan perbedaan kandungan FOS pada umbi yakon. Hal ini dikarenakan faktor ketinggian akan mempengaruhi suhu lingkungan dan paparan sinar matahari yang didapatkan oleh tanaman yakon. Suhu lingkungan tersebut akan mempengaruhi pertumbuhan jaringan, proses respirasi, serta proses biokimia dari tanaman yakon. Sehingga, akan mempengaruhi kandungan senyawa pada tanaman yakon, termasuk FOS yang terdapat pada bagian umbi yakon (Yuanita *et al.*, 2020). Suhu optimal pertumbuhan tanaman yakon berkisar antara 18°C-25°C, dimana pada kondisi ini tingkat perkecambahan tanaman yakon dapat mencapai hingga 90% (Kamp *et al.*, 2019). Adanya perbedaan metode perlakuan pasca-panen dan perbedaan alat deteksi yang digunakan untuk mendeteksi kandungan FOS pada umbi yakon juga mempengaruhi perbedaan kandungan FOS pada umbi yakon (Khajehei *et al.*, 2018; Vega & Hansen, 2014).

Suhu dan pH juga dapat mempengaruhi kandungan FOS pada umbi yakon. FOS akan banyak terhidrolisis pada keadaan pH rendah (sekitar 2.7-4.2) dan kombinasi suhu tinggi dengan waktu yang lama. Derajat hidrolisis FOS bahkan dapat mencapai hingga 80% (Matusek *et al.*, 2008; Vega & Hansen, 2014). FOS akan lebih mudah terhidrolisis pada keadaan asam atau pH yang rendah karena adanya aktivasi protonik. Ikatan osidik C-O pada fruktosa-fruktosa dan fruktosa-glukosa dalam ikatan glikosidik oligosakarida terprotonasi sangat rapuh dibandingkan dengan oligosakarida non protonasi. Sehingga, oligosakarida terprotonasi akan lebih cepat terhidrolisis saat pH rendah atau keadaan asam (Matusek *et al.*, 2008). Larutan oligofruktosa dengan pH 2.7 yang dipanaskan pada suhu 60°C selama 180 menit terus mengalami penurunan kandungan FOS, namun tidak signifikan. Komponen FOS seperti GF<sub>2</sub>, GF<sub>3</sub>, dan GF<sub>4</sub> masih berada pada kadar yang cukup tinggi setelah pemanasan selama 180 menit (>15 mmol/L). Sementara, larutan oligofruktosa dengan pH 2.7 yang dipanaskan pada suhu 100°C selama 70 menit mengalami penurunan kandungan FOS yang sangat signifikan. Bahkan, pada menit ke 50, 40, dan 30 kandungan GF<sub>2</sub>, GF<sub>3</sub>, dan GF<sub>4</sub> secara berturut-turut sudah tidak terdeteksi lagi. FOS dengan pH 3.3 yang dipanaskan pada suhu 60°C selama 180 menit mengalami penurunan dan peningkatan kandungan FOS sehingga jumlahnya tidak mengalami perubahan yang signifikan. Sementara, FOS dengan pH 3.3 yang dipanaskan pada suhu 100°C selama 80 menit mengalami penurunan kandungan FOS yang cukup signifikan. Kandungan GF<sub>2</sub> dan GF<sub>3</sub> masih terdeteksi hingga menit ke 80, sementara kandungan GF<sub>4</sub> sudah tidak terdeteksi pada menit ke 80. Hal ini membuktikan bahwa proses degradasi FOS dipengaruhi oleh suhu dan lama pemanasan serta nilai pH, dimana degradasi terjadi lebih cepat pada pH yang lebih rendah serta suhu yang lebih tinggi dengan waktu pemanasan yang lebih lama. FOS dapat terdegradasi pada *range* suhu 60°C-100°C, namun kecepatan degradasinya bergantung pada waktu pemanasan serta konsentrasi proton dari larutan yang berada dalam *range* pH tertentu (Matusek *et al.*, 2008).

Pada penelitian Scher *et al.* (2009), dilakukan pendeteksian kandungan gula pereduksi dan gula non pereduksi (termasuk FOS) pada potongan yakon yang diberikan perlakuan dehidrasi. Dari perlakuan tersebut, didapatkan jumlah kandungan gula non pereduksi sebesar 31.62%, 31.81%, dan 26.18% selama proses dehidrasi pada suhu 50°C, 60°C, dan 70°C.



Berdasarkan nilai tersebut, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan yang cukup signifikan ketika proses dehidrasi berlangsung pada suhu 70°C. Hal ini mengindikasikan adanya hidrolisis FOS yang cukup tinggi mulai pada suhu 70°C yang ditandai dengan penurunan jumlah gula non pereduksi (termasuk FOS) dan peningkatan gula pereduksi seperti glukosa dan fruktosa secara signifikan. Scher *et al.* (2009) juga menyatakan bahwa hidrolisis FOS terjadi selama proses pemanasan dan akan meningkat seiring dengan peningkatan suhu dan waktu, terutama pada suhu 70°C -100°C.

### **3.2. Manfaat Kesehatan FOS dan Potensinya Sebagai Alternatif Pemanis Alami**

Inulin jenis fruktan seperti FOS memiliki ikatan  $\beta(2\rightarrow1)$  yang tidak dapat dihidrolisis pada pencernaan manusia karena tidak ada enzim yang dapat menghidrolisis ikatan polimer tersebut (Graefe *et al.*, 2004). Maka, FOS akan melewati saluran pencernaan tanpa diserap ataupun terdegradasi, sehingga akan berada di usus besar dalam keadaan utuh. Kemudian, FOS akan difermentasi oleh sekelompok bakteri probiotik seperti *Lactobacillus* spp. dan *Bifidobacterium* spp. dan menghasilkan asam lemak rantai pendek (SCFA) berupa asetat, propionat, dan butirrat. Selain itu, dihasilkan juga L-laktat, CO<sub>2</sub>, hidrogen, dan metabolit lainnya (Castro *et al.*, 2013; Campos *et al.*, 2012). Adanya komponen FOS pada saluran pencernaan dapat memberikan banyak manfaat kesehatan seperti komposisi mikrobiota saluran pencernaan yang lebih seimbang serta meningkatkan penyerapan mineral seperti kalsium dan magnesium. Selain itu, FOS juga memiliki aktivitas hipoglikemik (dapat menurunkan kadar glukosa darah) serta dapat meningkatkan fungsi sistem seperti fungsi imun dan homeostasis lipid. Selain itu, FOS juga dapat menurunkan resiko dari berbagai penyakit seperti pertumbuhan kanker dan tumor (Alles *et al.*, 2015; Castro *et al.*, 2013; Graefe *et al.*, 2004).

Terkait dengan aktivitas hipoglikemik yang dimiliki oleh senyawa FOS, Genta *et al.* (2005) melakukan penelitian mengenai pengaruh konsumsi senyawa FOS terhadap kadar glukosa darah tikus Wistar berumur 3 bulan yang diberi suplementasi berupa tablet tepung umbi yakon selama 4 bulan. Konsentrasi FOS yang digunakan adalah konsentrasi rendah (340 mg FOS/kg BB/hari) dan konsentrasi tinggi (6800 mg FOS/kg BB/hari). Setelah dilakukan



suplementasi tablet tepung umbi yakon selama 4 bulan, dilakukan pendeteksian kadar glukosa darah pada tikus kontrol dan tikus yang diberi konsentrasi FOS rendah dengan nilai 106 mg/dl dan 99 mg/dl secara berturut-turut. Sementara itu, asupan FOS dalam konsentrasi tinggi hanya digunakan untuk memicu potensi respon toksisitas yang mungkin dihasilkan dari metabolit sekunder pada umbi yakon. Dari hasil penelitian tersebut, diketahui bahwa tidak ada respon negatif atau efek toksik yang dihasilkan setelah konsumsi tablet tepung yakon baik dengan konsentrasi FOS rendah maupun tinggi. Sementara itu, Satoh *et al.* (2013) juga melakukan penelitian mengenai pengaruh pemberian yakon terhadap kadar glukosa pada tikus Zucker (fa/fa) dengan konsentrasi yakon 6.5% selama 5 minggu. Kadar glukosa darah pada tikus kontrol dan tikus yang diberikan yakon adalah 184 mg/dl dan 167.9 mg/dl secara berturut-turut. Dari kedua penelitian tersebut, dapat dilihat bahwa kadar glukosa darah pada tikus kontrol lebih tinggi dibandingkan dengan tikus yang mengkonsumsi FOS atau yakon dalam konsentrasi tertentu sehingga hal ini membuktikan bahwa pemberian suplementasi berupa tablet tepung umbi yakon memiliki aktivitas hipoglikemik.

Konsumsi FOS dapat meningkatkan sensitivitas insulin dan juga kandungan *glucagon-like peptide-1* (GLP-1) pada bagian sekum dari tikus. GLP-1 diketahui memiliki peran dalam mengatur pelepasan insulin pasca-prandial dan juga terkait secara langsung dengan metabolisme lemak. Kandungan GLP-1 meningkat sebanyak 2 kali lipat karena adanya hipertrofi pada bagian sekum tikus, dimana konsumsi FOS memberikan efek kepada pembesaran sekum secara signifikan (Genta *et al.*, 2005). GLP-1 memiliki efek biologis yang sangat penting dalam pelepasan insulin, penghambatan glukagon dan somatostatin, serta pemeliharaan massa sel  $\beta$ . Adanya peningkatan GLP-1 dalam konsumsi FOS dibuktikan dalam penelitian Habib *et al.* (2011) yang menunjukkan kandungan GLP-1 pada tikus diabetes kontrol, tikus diabetes yang mengkonsumsi FOS 340 mg FOS/kg BB, dan tikus diabetes yang mengkonsumsi FOS 6800 mg FOS/kg BB secara berturut-turut memiliki nilai sebesar 60 pmol/total sekum, 118 pmol/total sekum, dan 138 pmol/total sekum. Sekresi GLP-1 dapat meningkat karena adanya asam lemak rantai pendek yang diproduksi oleh mikrobiota usus melalui metabolisme FOS yang tidak dapat dicerna, khususnya molekul 1-kestosa yang

berperan sebagai substrat bagi mikrobiota usus yang menghasilkan asam lemak rantai pendek untuk memproduksi hormon GLP-1 (Watanabe *et al.*, 2020).

Selain memiliki aktivitas hipoglikemik, konsumsi FOS juga memberikan aktivitas hipolipidemik yang dibuktikan pada penelitian Habib *et al.* (2011) dan Genta *et al.* (2005). Pada tikus diabetes yang mengkonsumsi FOS baik pada dosis rendah maupun tinggi, terjadi penurunan jumlah lemak terutama penurunan serum triasilgliserol dan kadar VLDL (*Very low density lipoprotein*) yang diketahui merupakan potensi faktor penyebab komplikasi pada penderita diabetes. Mekanisme aktivitas penurunan jumlah lemak dapat terjadi karena adanya aktivasi enzim lipoprotein lipase. Sementara, penurunan kolesterol tidak terlalu signifikan dan membutuhkan waktu konsumsi yang cukup lama untuk melihat hasilnya.

Berdasarkan data dari FDA (2016), penambahan senyawa FOS pada makanan dinilai aman apabila penambahannya sebesar 20 g/hari pada populasi secara umum dan sebesar 4.2 g/hari pada bayi yang berumur kurang dari 1 tahun yang tujuan penambahannya dilakukan pada makanan bayi. Dalam studi pemberian makan subkronis dan kronis yang dilakukan pada tikus, paparan keseluruhan tertinggi dari FOS adalah pada dosis 4680 mg/kg berat badan/hari dan 2170 mg/kg berat badan/hari, masing-masing tidak menunjukkan efek samping yang buruk. Tanggapan FDA terhadap pemberitahuan status GRAS pada FOS adalah FDA menyetujui status keamanan dalam penggunaan FOS pada tingkat penggunaan hingga sebesar 20 g/orang/hari dan pada bayi dengan tingkat penggunaan sebesar 400 mg/100 ml dalam formula pertama saat dikonsumsi dan sebesar 500 mg/100 ml dalam formula lanjutan saat dikonsumsi. Manrique *et al.* (2005) juga menyatakan bahwa mayoritas studi ilmiah menunjukkan bahwa konsumsi FOS kurang dari 20 g/hari tidak menimbulkan efek samping yang berbahaya. Namun, konsumsi FOS secara berlebihan dapat menyebabkan flatulensi dan diare, apabila lebih dari 20 g/hari dapat menyebabkan flatulensi dan apabila lebih dari 50 g/hari dapat menyebabkan diare.

FDA menyatakan bahwa FOS aman untuk dikonsumsi atau termasuk dalam kategori *Generally Recognized As Safe* (GRAS) oleh FDA berdasarkan prosedur ilmiah yang telah

dilakukan. Pernyataan ini dipublikasikan pada dokumen GRN 537, GRN 392, dan GRN 44. Pada dokumen GRN 537, dinyatakan bahwa pada penelitian *in vitro* dan studi yang dilakukan pada binatang, menunjukkan bahwa adanya paparan FOS dan jenis fruktan lainnya sebagai suplai makanan tidak menimbulkan potensi karsinogenisitas maupun mutagenisitas. Dokumen ini menyimpulkan bahwa FOS merupakan produk yang aman untuk dikonsumsi. Pada dokumen GRN 392, dinyatakan bahwa studi yang dilakukan pada bayi menunjukkan bahwa fruktan aman untuk dikonsumsi oleh bayi yang sehat dan adanya penambahan oligosakarida ke susu formula bayi tidak menimbulkan kemungkinan bahaya. Maka, tujuan penggunaan oligofruktosa dalam susu formula bayi dinyatakan aman atau masuk dalam kategori GRAS. Sementara itu, dokumen GRN 44 menyatakan bahwa FOS termasuk dalam kategori GRAS dalam kondisi penggunaan untuk tujuan tertentu (FDA, 2016).

FOS termasuk dalam kategori pemanis berenergi rendah dan telah banyak mengundang perhatian karena potensinya dalam menurunkan kadar gula darah, kadar lemak, serta memiliki banyak manfaat kesehatan (Genta *et al.*, 2005). Melihat berbagai penelitian mengenai kandungan FOS pada umbi yakon serta manfaat kesehatan dari konsumsi FOS, umbi yakon memiliki potensi yang cukup tinggi untuk dikembangkan dan diolah menjadi alternatif pemanis alami rendah kalori karena senyawa FOS sendiri merupakan kandungan utama yang jumlahnya cukup tinggi pada umbi yakon serta memiliki nilai kalori yang rendah (1.5-2.0 kkal/g) (Kumar *et al.*, 2018). Selain itu, pemanis yakon akan cocok dikonsumsi oleh para penderita diabetes sebagai pengganti gula dalam berbagai produk pangan karena senyawa FOS juga memiliki aktivitas hipoglikemik dan hipolipidemik yang tidak menimbulkan stimulasi peningkatan kadar glukosa darah (Handa *et al.*, 2011). Umbi yakon juga memiliki nilai Indeks Glikemik (IG) yang tergolong rendah, yaitu 34. Bahan pangan dengan IG rendah cenderung mengalami proses pencernaan yang lambat sehingga laju pengosongan perut juga berlangsung dengan lambat. Hal ini menyebabkan penyerapan glukosa pada usus kecil menjadi lebih lambat dan kenaikan kadar glukosa darah juga relatif rendah. Maka, umbi yakon sangat berpotensi untuk terus dikembangkan terutama sebagai pemanis alami rendah kalori yang cocok dikonsumsi oleh semua orang, termasuk para penderita diabetes tanpa menimbulkan efek samping yang berbahaya bagi kesehatan.