



Determination of Calcium Levels with XRF and Literature Review of its Bioavailability in Vitro of Dahlia Tubers Syrop (*Dahlia Pinnata Cav.*)

Gia Rahayu Ningsih, I Gusti Made Sanjaya✉

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya, Gedung C5-C6 Kampus Unesa Ketintang Telp. 031-8298761 Surabaya 60231, Indonesia

Info Artikel

Diterima April 2022

Disetujui Juni 2022

Dipublikasikan Agustus 2022

Keywords:

Dahlia tuber

Calcium

Bioavailability

Abstrak

Bioavailabilitas kalsium (Ca) menyatakan rasio kalsium yang tersedia dengan jumlah kalsium yang dikonsumsi selama proses metabolisme. Bioavailabilitas Ca dihitung dengan besarnya selisih antara jumlah Ca pada produk pangan yang dikonsumsi dengan feses yang dikeluarkan. Pada penelitian ini kalsium dapat diperoleh dari sirop umbi dahlia (*Dahlia pinnata Cav.*). Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari penentuan kadar Ca dan kajian pustaka bioavailabilitas Ca sirop umbi dahlia (*Dahlia pinnata Cav.*) secara in vitro. Kandungan Ca dalam umbi dahlia ditentukan secara eksperimen menggunakan instrumen XRF (*X-Ray Fluorescence*). Bioavailabilitas Ca ditentukan dengan cara prediksi terhadap perbandingan kandungan inulin dan Ca. Hasilnya menunjukkan bahwa kadar Ca yang dimiliki sirop umbi dahlia sebesar 197,57 ppm. Bioavailabilitas Ca pada sirop umbi dahlia secara in vitro yang diprediksikan dari perbandingan kandungan inulin yang cukup tinggi sekitar 65-86% dan kadar FOS dari hidrolisis inulin umbi dahlia 5% sekitar 15,41-29,38% atau rata-rata sebesar 22,395%, terhadap kadar Ca adalah sebesar 81,46-85,33%. Hasil kajian bioavailabilitas Ca pada sirop umbi dahlia (*Dahlia pinnata Cav.*) memiliki kadar yang cukup tinggi. Bioavailabilitas Ca yang cukup tinggi dapat meningkatkan penyerapan kalsium dalam tubuh dan memiliki efek kesehatan antara lain untuk kesehatan jantung dan tulang.

Abstract

Calcium bioavailability (Ca) states the ratio of available calcium to the amount of calcium consumed during metabolic processes. The bioavailability of Ca is calculated by the difference between the amount of Ca in the consumed food product and the excreted feces. In this research, calcium can be obtained from dahlia tuber syrup (*Dahlia pinnata Cav.*). The purpose of this study was to discuss the determination of Ca levels and a literature review of the Ca bioavailability of dahlia tuber syrup (*Dahlia pinnata Cav.*) in vitro. The content of Ca in dahlia tubers was determined experimentally using an XRF (*X-Ray Fluorescence*) instrument. The bioavailability of Ca was determined by predicting the ratio of inulin and Ca content. The results showed that the Ca content of dahlia tuber syrup was 197,57 ppm. The bioavailability of Ca in dahlia tuber syrup in vitro was predicted from a relatively high ratio of inulin content of around 65-86% and FOS levels from hydrolysis of 5% dahlia tuber inulin about 15,41-29,38% or an average of 22,395%, on Ca levels is 81,46-85,33%. The results of the study on the bioavailability of Ca in dahlia tuber syrup (*Dahlia pinnata Cav.*) have a fairly high level. The high bioavailability of Ca can increase calcium absorption in the body and have health effects, among others, for heart and bone health.

Pendahuluan

Dahlia pinnata Cav. atau sering dikenal dengan umbi dahlia merupakan tanaman perdu berumbr (perennial) keluarga *Asteraceae (Compositae)* berasal dari pegunungan Meksiko yang umumnya digunakan sebagai tanaman hias dan memiliki 42 spesies dengan lebih dari seribu kultivar berbeda di seluruh dunia (Vinayananda, 1994; Jain, *et al.*, 2012; Marcineak, *et al.*, 2019). Umbi dahlia mengandung karbohidrat termasuk didalamnya kandungan inulin yang cukup tinggi dan bermanfaat sebagai serat makanan atau prebiotik (Susilowati, *et al.*, 2015). FOS dapat diperoleh dari hidrolisis inulin, FOS (frukto oligosakarida) merupakan pemanis alami berkalori rendah, yang merupakan kumpulan unit fruktosa atau campuran oligosakarida antara 2-9 unit fruktosa dengan ikatan rantai β -2,1 glikosidik (Suparwati, 2014). Sedangkan inulin merupakan suatu polisakarida fruktan rantai panjang yang banyak digunakan dalam industri makanan sebagai pengubah tekstur, pengganti lemak, atau pemanis rendah kalori (Mensink, Frijlink, Maarschalk, & Hinrichs, 2015) serta memiliki efek terapeutik potensial sebagai peningkatan penyerapan mineral dan stimulasi fungsi kekebalan tubuh (Ahmed & Rashid, 2019).

Selain mengandung inulin, umbi dahlia juga terdapat gula tereduksi, selulosa, protein serta lemak. Karbohidrat berupa serat pangan yang terkandung pada umbi dahlia sebesar 76,80-82,80% (bk), lemak sebesar 0,50-1,00% (bk), protein sebesar 3,90-5,70% (bk) dan gula reduksi sebesar 4,40-6,60% (bk) (Saryono & Hindersah, 2000). Kalsium, natrium, kalium, dan magnesium juga terkandung di dalamnya (Irwan, 1996). Umbi dahlia memiliki potensi yang dapat digunakan sebagai produk olahan yaitu sirup, karena umbi dahlia mengandung inulin dan dapat digunakan untuk produksi FOS dengan cara hidrolisis (Rukmana, 2000) serta memiliki kandungan kalsium (Irwan, 1996).

Kalsium merupakan makromineral yang dibutuhkan tubuh dalam berbagai fungsi fisik, sekitar lebih dari 100 mg sehari (Widiarsih, 2018). *Recommended Dietary Allowance (RDA)* untuk kalsium pada wanita usia 19-50 tahun adalah sebesar 1.000 mg setiap hari; untuk wanita 51+, 1.200 mg; wanita hamil dan menyusui, sebesar 1.000 mg; untuk pria berusia 19-70 tahun, sebesar 1.000 mg; untuk pria lanjut usia 71 tahun, sebesar 1.200 mg (Ross, *et al.*, 2011). Kalsium sebagian besar terdapat pada gigi, tulang dan sisanya pada jaringan lunak dan cairan tubuh (Amran, 2018). Sebagian besar kalsium yang masuk melalui asupan atau makanan ke dalam tubuh disimpan dan tidak dibuang lewat urine atau feses (Kurniawan, 2015).

Produk olahan pangan seperti sirup umbi dahlia perlu diiringi tentang pengetahuan terhadap ketersediaan biologisnya (bioavailabilitas). Kandungan kalsium yang tinggi dalam suatu makanan tidak serta merta menjamin tubuh menyerap kalsium dalam jumlah besar. Jika bioavailabilitas rendah, jumlah kalsium yang diserap tubuh akan rendah (Puspita, 2003). Jumlah mineral makanan yang dapat diserap dan dimanfaatkan oleh tubuh disebut bioavailabilitas. Selain itu, kandungan inulin dan FOS dalam umbi dahlia berperan untuk meningkatkan bioavailabilitas mineral kalsium yang dibutuhkan darah dan tulang. Pada dasarnya mekanisme dalam tubuh membutuhkan kalsium, sehingga terbentuk proses kontrol homeostasis sebagai pengkonstan dalam kalsium darah (Sutiari, 2017). Jika kalsium tidak terpenuhi dapat menimbulkan osteoporosis. Proses regenerasi tulang melambat seiring bertambahnya usia, yang dapat menyebabkan peningkatan risiko osteoporosis dan penurunan fungsi kerja jantung dan feses (Kurniawan, 2015). Untuk mencegah terjadinya osteoporosis adalah dengan menyediakan kalsium yang cukup tersedia secara hayati untuk mengoptimalkan potensi genetik. Umumnya osteoporosis terjadi karena fisiologis tubuh tidak lagi dapat beradaptasi, dan hampir 30% orang yang mengonsumsi makanan dengan kandungan kalsium yang rendah (Heaney, 1996). Sehingga kebutuhan kalsium di dalam tubuh harus terpenuhi sesuai kebutuhan, jika terjadi kelebihan atau kekurangan kadar kalsium dalam tubuh akan menyebabkan kelelahan pada aktivitas fisik (Amran, 2018).

Bioavailabilitas kalsium menyatakan rasio kalsium yang tersedia dengan jumlah kalsium yang dikonsumsi selama proses metabolisme (Miller, 1996). Semakin tinggi kebutuhan tubuh akan kalsium dan semakin sedikit suplainya, maka semakin efisien tubuh menyerap kalsium (Syahrial & Handayani, 2020). Bioavailabilitas mineral dalam makanan didefinisikan sebagai persentase mineral yang dapat diserap dan dimanfaatkan oleh tubuh. Faktor-faktor yang mempengaruhi bioavailabilitas mineral meliputi: pH intestinal lumen, faktor diet makanan, kelarutan mineral, dan waktu penyerapan (Liang, Jianfen, Han, Robert, & Robert, 2008). Metode untuk mengukur bioavailabilitas mineral adalah metode secara in-vivo atau in-vitro (Puspita, 2003). Pada metode in-vitro, dikondisikan oleh kondisi fisiologis manusia. Sistem ini mensimulasikan keadaan gastrointestinal selama proses pencernaan, yaitu pH dan enzim yang bekerja pada tahap lambung (gastric), dan tahap usus halus (intestinal). Pada metode in vitro, kantung dialisis digunakan pada teknik dialisis (Puspita, 2003). Berbagai penelitian telah dilakukan untuk menurunkan tingkat fitat untuk mendapatkan bioavailabilitas mineral yang tinggi, salah satu caranya dengan mendegradasi senyawa fitat. Efisiensi degradasi senyawa fitat ini dapat dilakukan dengan menambahkan enzim fitase eksogen (Sandberg, 2002). Bioavailabilitas Ca dihitung dengan besarnya selisih antara jumlah Ca pada produk

pangan yang dikonsumsi dengan feces yang dikeluarkan. FOS dan inulin sendiri berfungsi untuk meningkatkan bioavailabilitas mineral kalsium yang dibutuhkan darah dan tulang karena memberikan manfaat dalam meningkatkan daya serap tubuh terhadap kalsium yang menunjang kesehatan tulang dan jantung (Herminiati, 2012). Fruktan inulin telah dikaji secara ekstensif (Cashman, 2006) dan telah dipelajari bahwa inulin dapat mengoptimalkan penyerapan kalsium pasif (Cashman, 2003). Bahkan, penyerapan kalsium pada usus juga merupakan jalur paraseluler pasif melalui hubungan pesimpangan ketat antar sel mukosa usus besar dan usus kecil (Bronner, 1987).

Umbi dahlia merupakan salah satu umbi penghasil FOS dan inulin yang cukup tinggi serta memiliki kandungan kalsium yang bermanfaat dalam kesehatan khususnya kesehatan tulang dan jantung. Sehingga kajian ini diharapkan mampu memberikan informasi kepada konsumen mengenai penentuan kadar Ca dan bioavailabilitas Ca dari produk olahan sirop umbi dahlia (*Dahlia Pinnata Cav.*). Dengan demikian masyarakat dapat memenuhi kecukupan kalsium dari sumber pangan alami yaitu umbi dahlia (*Dahlia Pinnata Cav.*).

Metode

Alat dan Bahan

Sirop umbi dahlia ini dibuat dari umbi dahlia (*Dahlia Pinnata Cav.*) segar yang berasal dari daerah Wagir, Malang dan instrumen yang digunakan untuk menguji kadar kalsium (Ca) dalam umbi dahlia (*Dahlia Pinnata Cav.*) yaitu instrumen *X-Ray Fluorescence Analysis (XRF, PANalytical type minipal 4)*. Sedangkan untuk kajian artikel menggunakan database *Google cendekia, Elsevier, Science direct, Pubmed dan Research gate*.

Pembuatan Sirop Umbi Dahlia (*Dahlia Pinnata Cav.*)

Sirop dibuat dari umbi dahlia (*Dahlia Pinnata Cav.*) segar yang diolah dengan cara mengambil umbi dahlia (*Dahlia Pinnata Cav.*) segar, dikupas kulitnya dan dipotong, kemudian diekstraksi, disaring, dan kemudian dievaporasi dan pemekatan ($50-60^{\circ}$ Brix), selanjutnya penyaringan pre sirop dan dilakukan pemekatan terakhir ($68-70^{\circ}$ Brix), kemudian disaring kembali dan pengemasan dalam botol (Manrique, 2005; Simvianny, 2021).

Penentuan Kadar Ca Dalam Sirop Umbi Dahlia (*Dahlia Pinnata Cav.*)

Kadar Ca dapat diperoleh dengan membuat serbuk dari umbi dahlia segar yang kemudian diuji menggunakan instrumen XRF (*X-Ray Fluorescence Analysis*).

Langkah pertama pembuatan serbuk dari umbi dahlia sebagai berikut: pemilihan umbi dahlia yang segar, penimbangan sampel umbi dahlia (*Dahlia Pinnata Cav.*) sebanyak 500 gram, kemudian dicuci dan dikupas dari kulitnya. Umbi dahlia (*Dahlia Pinnata Cav.*) kemudian dihaluskan dan dikeringkan sampai menjadi serbuk. Serbuk Umbi Dahlia (*Dahlia Pinnata Cav.*) ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Serbuk Umbi Dahlia (*Dahlia Pinnata Cav.*)

Setelah menjadi serbuk, dilakukan pengujian dengan menggunakan XRF dengan cara sebagai berikut: dinyalakan perangkat XRF, tekan tombol HT On (*X-Ray On*), tekan tombol minipal untuk menyalakan komputer dan buka program komputer dan ditunggu sampai siap digunakan sekitar 10-15 menit. Selanjutnya menyiapkan bahan sampel umbi dahlia, holder dengan plastik khusus untuk XRF, dan memasukkan sampel ke dalam *holder* tersebut. Memasuki proses pengukuran, memasukkan sampel serbuk umbi dahlia (*Dahlia Pinnata Cav.*) ke perangkat XRF, pada program Minipal, membuka menu Measure,

Measure Standardless, kemudian menulis nama sampel pada kolom ID atau Sampel Ident and Measure (sesuai urutan sampel) dan menunggu hingga proses pengukuran selesai. Hasil dapat dilihat pada menu hasil, dan selanjutnya hasil yang diharapkan dicetak.

Penentuan Bioavailabilitas Kalsium (Ca)

Penentuan Bioavailabilitas Ca pada sirop umbi dahlia menggunakan metode prediksi dengan studi banding pada penelitian sebelumnya dan menggunakan database *Google cendekia*, *Elsevier*, *Science direct*, *Pubmed* dan *Researchgate* kemudian diprediksikan hasil bioavailabilitas Ca dalam sirop umbi dahlia (*Dahlia Pinnata Cav.*) secara in vitro dengan perbandingan kadar inulin dan FOS dari umbi umbi yakon sehingga didapatkan perkiraan bioavailabilitas Ca pada sirop umbi dahlia.

Hasil dan Pembahasan

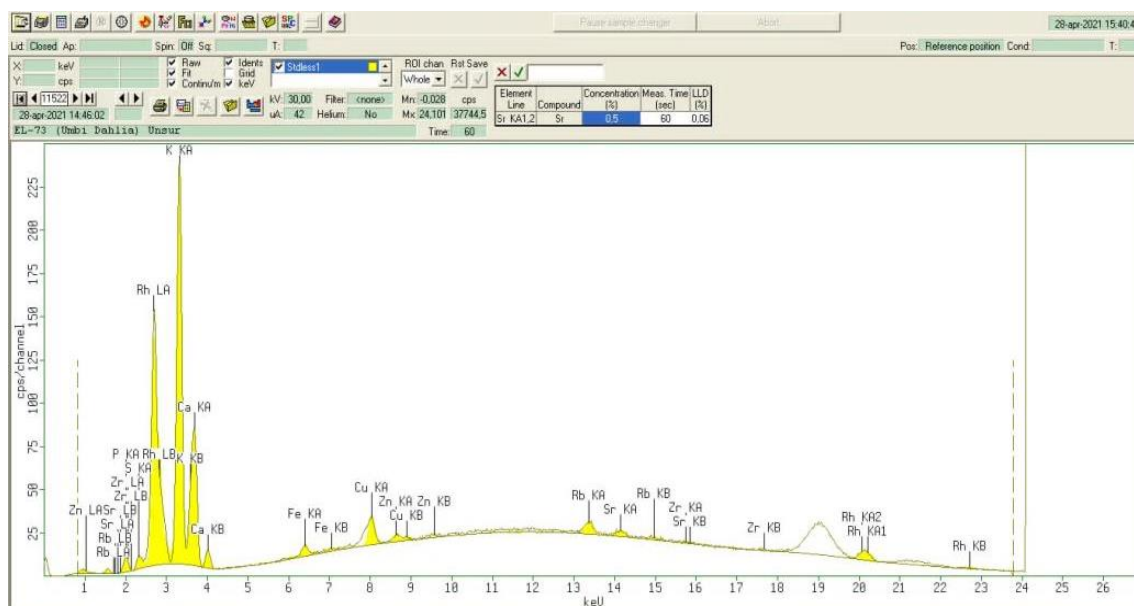
Penentuan Kadar Ca Dalam Sirop Umbi Dahlia (*Dahlia Pinnata Cav.*)

Penentuan kadar Ca dalam sirop umbi dahlia (*Dahlia Pinnata Cav.*) dengan menggunakan instrumen XRF (*X-Ray Fluorescence Analysis*). XRF adalah metode untuk menganalisis secara kualitatif dan kuantitatif suatu unsur-unsur kimia yang berupa cairan, padatan, maupun serbuk. Emisi fluoresensi yang dipancarkan oleh sampel ketika disinari (radiasi) oleh sinar X dari instrumen XRF. Instrumen XRF berguna untuk mengukur panjang gelombang masing-masing komponen material (Panalytical, 2009; Uddin, et al., 2016; Daly & Fenelon, 2017). Analisis kualitatif bertujuan sebagai identifikasi jenis-jenis unsur yang terdapat dalam suatu bahan sampel dan mengetahui komposisi kimia bahan tersebut. Analisis kuantitatif bertujuan untuk identifikasi konsentrasi atau kadar unsur-unsur dalam materi atau bahan sampel (Daly & Fenelon, 2017; Winarti, Eni, Yustinus, & Yudi, 2013). Dalam penelitian ini, analisis kuantitatif yang digunakan karena untuk mengetahui konsentrasi atau kadar Ca yang terkandung di dalam bahan sampel. Tabel kadar dalam sirop umbi dahlia (*Dahlia Pinnata Cav.*) disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kadar dalam Sirop Umbi Dahlia (*Dahlia Pinnata Cav.*)

Komponen	Konsentrasi (%)	Komponen	Konsentrasi (%)
P	4	P ₂ O ₅	7,9
S	0,99	SO ₃	2,1
K	58,6	K ₂ O	54,1
Ca	32,5	CaO	32,8
Fe	0,71	Fe ₂ O ₃	0,69
Cu	1,5	CuO	1,2
Zn	0,36	ZnO	0,32
Rb	0,85	Rb ₂ O	0,65
Sr	0,46	SrO	0,29
Zr	0,08	ZrO ₂	0,04

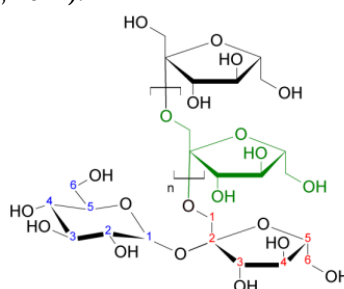
Pada pengujian sampel sirop umbi dahlia (*Dahlia pinnata Cav.*) dengan instrumen XRF (*X-Ray Fluorescence Analysis*) dilakukan pengujian satu kali, nilai kandungan logam kalsium yang dapat dianalisis dari umbi dahlia segar dengan berat sebesar 500 gram dan dibuat serbuk menghasilkan 20 gram serbuk umbi dahlia. Sebesar 10,0562 gram serbuk diujikan pada kondisi suhu 22,9°C dengan kelembaban 56% diperoleh kadar Ca sebesar 32,5% atau dihasilkan kadar Ca sebesar 197,57 ppm dengan berat kering atau kelembaban 0%. Kurva hasil uji kadar Ca dalam sirop umbi dahlia (*Dahlia Pinnata Cav.*) disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva Kadar Ca dalam Sirop Umbi Dahlia (*Dahlia Pinnata Cav.*)

Kajian Pustaka tentang Inulin

Inulin merupakan gugus polisakarida karbohidrat yang terbentuk secara alami dan terdiri dari polimer unit fruktosa terikat dengan gugus terminal glukosa, dimana setiap unit fruktosa dihubungkan oleh ikatan glikosidik β -(2→1) (Setiarto, *et al.*, 2017). Rantai fruktosa linier inulin memiliki rumus struktur (GF)_n dari (G = unit terminal glukosa, F = unit fruktosa dan n = jumlah unit fruktosa yang terikat satu sama lain) (Adebola, Corcoran, & Morgan, 2014). Trimer dasar GF₂ pada inulin dan fruktan terpendek dari tipe inulin adalah 1-ketos. Panjang rantai atau derajat polimerisasi (DP) molekul adalah n+1. Inulin dari umbi dahlia merupakan campuran dari oligomer-oligomer dan polimer-polimer fruktosa yang memiliki DP yang bervariasi, dan biasanya berkisar dari 3 (sesuai GF₂)—sekitar 60 dengan panjang rantai terbanyak sekitar 9 (Herminiati, 2012; Adebola, Corcoran, & Morgan, 2014). Inulin termasuk polimer berbasis fruktosa berantai [1,2] fruktofuranosida yang didahului oleh satu molekul glukosa (Singh, *et al.*, 2016). Struktur inulin disajikan pada Gambar 3 (Herminiati, 2012).



Gambar 3. Formula struktur inulin (Herminiati, 2012).

Inulin termasuk polisakarida yang dapat larut dalam air (*soluble dietary fiber*), enzim-enzim pencernaan (amilase, pepsin, lipase, dan tripsin) tidak dapat mencerna inulin, namun mikroflora di usus besar dapat memfermentasinya, sehingga digolongkan sebagai prebiotik atau sering disebut *colonic foods* bagi mikroflora usus (Winarti, *et al.*, 2013; Singh, *et al.*, 2016; He, *et al.*, 2007). Inulin sebagai serat makanan memiliki efek positif bagi kesehatan fisik dan pencernaan (He, *et al.*, 2007). Inulin sukar larut dalam pelarut organik dan air dingin, tetapi pada air panas mudah larut (Murwindra, *et al.*, 2016). Kelarutan inulin berkisar antara 96,51%-99,02%, menunjukkan bahwa inulin memiliki kemampuan larut yang tinggi dalam air (Winarti, *et al.*, 2011).

Inulin terdiri dari oligo dan polisakarida berhubungan dengan (2-1) fruktosa molekuler. Ikatan ini mencegah enzim pencernaan untuk mencerna inulin dan akan merangsang proliferasi dan aktivitas bakteri yang diinginkan *secara in situ* (Rodrigues, *et al.*, 2011). Oleh karena itu, inulin tanpa melalui proses metabolisme ketika melewati mulut, lambung, dan usus halus (Singh, *et al.*, 2016; Ahmed & Rashid, 2019),

sehingga ketika mencapai *caecum* tanpa mengalami perubahan struktur kimia (Krismaputri, Suthama, & Sukanto, 2016). Inulin yang tidak dapat dicerna oleh enzim pencernaan dan mencapai usus besar tanpa perubahan kimiawi secara selektif memiliki kemampuan untuk merangsang pertumbuhan dan aktivitas bakteri yang menguntungkan di dalam saluran pencernaan, larut dalam air dan merupakan polimer alami dari kelompok karbohidrat sehingga digunakan sebagai prebiotik (Roberfroid, 2005; Coxam, 2005). Setelah inulin dikonsumsi, akan menuju usus besar dan difermentasi menjadi asam lemak rantai pendek oleh mikroflora di usus besar, menghasilkan asam laktat dari mikroflora tertentu. Sehingga mengurangi derajat keasaman (pH) usus besar. Asam laktat di usus besar merangsang gerak peristaltik usus, yang dapat mencegah konstipasi. Selain itu, asam laktat dan asam lemak rantai pendek di usus besar dapat meningkatkan penyerapan kalsium (Kolida, *et al.*, 2002; Hermeniati, 2012). Proses ini akan menghasilkan asam laktat sehingga berdampak pada turunnya pH substrat (Setiarto, *et al.*, 2017). Inulin jenis fruktan ini dapat menstimulasi atau merangsang penyerapan kalsium, yang mempengaruhi fisiologi tulang manusia (Coxam, 2005).

Inulin termasuk karbida rendah kalori yang mengandung sekitar 1,5 kkal/gram, lebih rendah 60-65% dari heksosa yang dicerna, (3,9 kkal/g) seperti glukosa, fruktosa, dan lain-lain (Horiza, *et al.*, 2017). Inulin termasuk dalam kelompok fruktan karbohidrat, mengandung serat makanan dan indeks glikemik rendah yang membantu mengurangi kadar gula darah dan kolesterol dengan mengurangi lipogenesis dan antioksidan (Zeaiter, *et al.*, 2019) serta telah terbukti dapat meningkatkan sensitivitas terhadap insulin pada diabetes mellitus (Wolfgang & Südzucker, 2004). Selain itu, berpotensi sebagai serat pangan yang tahan terhadap pencernaan dan penyerapan di usus halus manusia melalui fermentasi di usus besar (Pamungkas, *et al.*, 2019). Produk fermentasi inulin di usus besar adalah asam lemak rantai pendek yang terdiri dari asetat, propionat, dan butirat yang berfungsi dapat mempertahankan pH mukosa usus (Roberfroid, 2005; Dwiyoitno, 2011; Hermeniati, 2012). Manfaat lain inulin sebagai pencegah atau kontrol diabetes, metabolisme lipid, penyerapan mineral, pencegah kanker, imunomodulasi dan aktivitas prebiotik (Zubaidah & Akhadiana, 2013; Petkova, *et al.*, 2018). Dalam kondisi tertentu, fruktan tipe inulin dapat meningkatkan absorpsi mineral yang berefek pada perbaikan kesehatan usus termasuk stabilisasi flora usus dan pengurangan peradangan. Banyaknya laporan menunjukkan bahwa fruktan tipe inulin adalah zat yang menjanjikan yang dapat membantu meningkatkan pasokan kalsium yang tersedia dalam nutrisi manusia dan dengan ini berkontribusi pada kesehatan tulang (Scholz-Ahrens & Schrezenmeir, 2007). Selain itu, kadar inulin yang tinggi pada umbi dahlia dapat meningkatkan penyerapan mineral termasuk kalsium (Aprilia, *et al.*, 2021).

Berikut ini adalah beberapa penelitian terdahulu tentang kandungan inulin umbi dahlia (*Dahlia Pinnata Cav.*) diantaranya: umbi dahlia segar mengandung inulin sebesar 72,6% dan setelah ekstraksi lanjutan sebesar 41,7% (Widowati, *et al.*, 2005). Umbi akar dahlia mengandung 80% air dan 20% padatan. Sekitar 85% dari padatan terdiri dari inulin tipe gula dan bahan selulosa (Suparwati, 2014). Kandungan inulin juga terdapat pada tepung inulin umbi dahlia yaitu sebesar 80,09%. Umbi dahlia mengandung inulin sebesar 65-75% dari total karbohidrat yang ada di dalamnya (Haryani, *et al.*, 2013; Widiastuti, 2020). Kandungan inulin umbi bunga dahlia yaitu 69,50-75,48% (Saryono & Reginawati, 2009). Ekstraksi dan determinasi juga telah dilakukan dengan menggunakan KLT-Densitometri dihasilkan kandungan inulin sebesar 86,26% pada umbi dahlia (Sandiyya, *et al.*, 2014). Sebesar 65% lebih tinggi kandungan inulin pada umbi dahlia dibandingkan dengan umbi bawang merah, sawi putih, umbi jerusalem artichoke, dan daun dandelion (Herianto, *et al.*, 2018), serta kadar inulin umbi dahlia didapatkan paling tinggi yaitu sebesar 78,21%, daripada umbi bengkuang 48,66% dan umbi gembili 67,66% (Elok & Wilda, 2013). Kandungan serat dikaitkan dengan kandungan inulin yang lebih tinggi. Serat disebut fruktan yang merupakan polisakarida yang terdiri dari unit monomer fruktosa melalui ikatan 2-1 fruktofuranosida yang didahului oleh molekul glukosa (Roberfroid, 2005), diduga semakin tinggi serat maka semakin tinggi pula kemampuannya sebagai prebiotik. Kadar inulin umbi dahlia yang cukup tinggi tersebut cocok sebagai substrat pada produksi medium enzim inulinase dan sebagai produk utama yaitu fruktosa dan fruktooligosakarida (Haryani, *et al.*, 2013; Widiastuti, 2020; Aprilia, *et al.*, 2021). Jadi menurut beberapa penelitian terdahulu dapat diketahui bahwa kandungan inulin dalam umbi dahlia tinggi yaitu sekitar 65-86%.

Kajian Pustaka tentang FOS

Frukto oligosakarida (FOS), fruktan dengan rantai pendek dan termasuk oligosakarida yang mengandung 2-10 unit fruktose (Yan, *et al.*, 2019). FOS merupakan β -D-fruktofuranosa yang dihubungkan dengan ikatan rantai β (2-1) glikosidik atau campuran oligomer dan polimer yang tidak dapat dicerna di usus halus, rendah kalori, difermentasi oleh mikroflora kolon dan dapat menstimulasi atau merangsang

bifidobacteria (Marsono, 2008; Yan, *et al.*, 2019; Simvianny, 2021). Struktur kimia FOS ditunjukkan dengan simbol GF_n (G = unit glukosil, F = unit fruktosil, *n* = jumlah unit terikat oleh (2-1)-fruktosa (Gallagher, 2008; Apriyanto & Sanjaya, 2014). FOS termasuk oligosakarida dengan polimerisasi 2-9 (glukosa-(fruktosa)_n = GF_n), terutama GF₂ (unit 1-ketosa), GF₃ (1-nystosa), GF₄ (unit 1F-fructofuranosyl nystosa) sedangkan inulin memiliki polimerisasi GF₃₅ (Borromei, *et al.*, 2009; Maulidah & Yuanita, 2022) dan fruktosyl (F) yang terikat pada sukrosa oleh ikatan β-2.1 (Falony, *et al.*, 2009). Ikatan β-2.1 menyebabkan FOS tahan terhadap hidrolisis oleh asam atau enzim pada saluran pencernaan manusia (Roberfroid, 2000; Prayoga, 2008).

Frukto oligosakarida tidak dapat dihidrolisis oleh enzim glycosidase di usus halus, sehingga FOS akan diserap atau didegradasi pada gastrointestinal di dalam usus besar dalam kondisi utuh. FOS dapat merangsang pertumbuhan *lactobacillus* dan *bifidobacterium* di dalam usus besar (Ten-Bruggencate, 2006; Shindyanna, 2021). Komponen FOS (frukto oligosakarida) hanya sebagian dapat dicerna oleh manusia, dan sisanya digunakan sebagai sumber makanan di usus besar oleh bakteri *Bifidobacterium sp* dan *Bacteroides sp* (Widiastuti, 2020), ini karena FOS memiliki kemampuan untuk membentuk piruvat dan kemudian membentuk asam lemak rantai pendek (*Short Chain Fatty Acids*, SCFAs) berupa asam asetat, asam propionat, dan asam butirat. Asam asetat berkontribusi dalam metabolisme karbohidrat dan lipid, asam propionat membantu mengatur metabolisme lipid dengan mengurangi sintesis kolesterol di hati dan asam butirat termasuk sumber energi untuk kolonosit atau sel usus besar (Prayoga, 2018). Asam lemak rantai pendek (SCFAs) tersebut dapat meningkatkan respon imun lokal, penekanan jangka panjang dari peradangan dan perkembangan kanker usus, menurunkan pH usus besar, dan meningkatkan kelarutan dan penyerapan mineral di usus besar (Rolim, 2015; Simvianny, 2021). Asam asetat, asam propionat dan asam butirat, memiliki kemampuan untuk menghambat sintesis kolesterol dan mengurangi sekresi triglycerol (Ooi & Liong, 2010). L-laktat, CO₂, hidrogen, dan metabolit lainnya juga diproduksi (Castro, *et al.*, 2013), dan asam lemak rantai pendek (SCFAs) yang dihasilkan dapat berpengaruh pada kelarutan mineral yang akan meningkat dan dapat menurunkan derajat keasaman atau pH di usus besar (Scholz-Ahrens & Schrezenmeir, 2007; Alles & Zapata, 2015). Fruktooligosakarida dapat meningkatkan penyerapan mineral tertentu di usus besar, sehingga dapat meningkatkan bioavailabilitas mineral seperti Ca (Alles & Zapata, 2015).

FOS memiliki rasa yang manis dan karakteristik non toksik atau tidak beracun, sehingga dapat digunakan dalam berbagai aplikasi produk makanan (Gallagher, 2008), sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan baku pembuatan sirup. Tingkat kemanisan senyawa FOS cukup rendah, yaitu sekitar 1/3 atau 0,3-0,6 kali dari senyawa sukrosa, tergantung pada struktur kimia dan derajat polimerisasi (DP) oligosakarida. Secara umum, semakin panjang rantai oligosakarida maka semakin berkurang intensitas kemanisannya. Rasa manis FOS dapat digunakan sebagai alternatif pengganti sukrosa karena sifat sukrosa yang memiliki tingkat kemanisan yang tinggi. Selain itu, nilai kalori yang rendah pada FOS sekitar 1,5-2,0 kkal/g, setara dengan sukrosa sebesar 40-50% (Kumar, *et al.*, 2018). Dengan demikian, FOS dapat dijadikan suplemen makanan atau sirup yang dapat membantu mengatasi masalah kelebihan kolesterol dan berbagai penyakit kardiovaskular (Rolim, 2015). FOS juga berperan penting dalam kesehatan, seperti komposisi mikrobiota saluran pencernaan yang lebih seimbang, efek hipoglikemik (dapat menurunkan kadar glukosa darah), peningkatan fungsi sistem seperti fungsi imun dan homeostasis lipid, peningkatan penyerapan mineral seperti Ca dan Mg dan mengurangi risiko berbagai penyakit seperti kanker dan perkembangan tumor (Scholz-Ahrens & Schrezenmeir, 2007; Kumar, *et al.*, 2018).

Efek kesehatan dari pemberian fruktooligosakarida (FOS) dan produk prebiotik telah dipelajari dilaporkan bahwa orang lanjut usia dengan pemberian 10 g FOS dapat meningkatkan kesehatan gastrointestinal, terutama fungsi usus besar dan meningkatkan penyerapan mineral, sehingga FOS dapat meningkatkan bioavailabilitas mineral kalsium yang dibutuhkan darah dan tulang (Matteuzzi, *et al.*, 2004). Selain itu, produk prebiotik yang digunakan sebanyak 10 g dapat digunakan untuk menekan pertumbuhan bakteri coliform dan clostridia serta dapat merangsang pertumbuhan *lactobacillus* dan *bifidobacteria* (Chen, Lu, & Ko, 2000). Terdapat sekitar 400 spesies bakteri yang disebut sebagai mikroflora di usus besar. Mikroflora ini menyumbang hingga 50-60% dari berat feses kering (Agustina, 2019).

FOS merupakan produk antara fruktosa dan inulin yang dapat diperoleh salah satunya dengan metode hidrolisis inulin (Suparwati, 2014). Inulin dapat dihidrolisis menjadi FOS dengan dua cara yaitu dengan cara hidrolisis asam dan hidrolisis enzimatis (Suparwati, 2014). Produk FOS yang dihasilkan lebih murni jika menggunakan cara hidrolisis enzimatis karena secara spesifik dapat memutuskan rantai ikatan dalam inulin. Hidrolisis inulin menjadi FOS dengan bantuan enzim inulinase, yang pada dasarnya merupakan bentuk intrinsik aktif atau biasa disebut endoenzim (Suparwati, 2014). Rantai inulin di bagian dalam dipotong oleh enzim inulinase untuk menghasilkan eksoinulinase dan oligosakarida, sedangkan pada

bagian terminal inulin dipotong oleh enzim inulinase untuk menghasilkan fraksi fruktosa (Yun, *et al.*, 1999; Yuliana, *et al.*, 2014).

Studi telah dilakukan dari penelitian artikel terdahulu tentang FOS telah menunjukkan bahwa produk FOS dapat terbentuk dari aktivitas enzim *Khamir Kluyveromyces marxianus* DUCC-Y003 dalam media perlakuan. Fruktosa oligosakarida (FOS) dapat diketahui pada media perlakuan dengan mengukur derajat polimerisasi (DP). Hasil penentuan nilai DP dengan membandingkan kadar gula total dengan kadar fruktosa total dalam media kultur. DP = DP FOS dalam kisaran 2–10, karena FOS merupakan suatu oligomer yang terdiri dari 2-10 unit monomer penyusunnya dan sumber ekstrak FOS yang tersedia secara komersial sebesar DP 3-5, nilai ini adalah jumlah unit monomer fruktosa yang membentuk FOS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagai substrat produksi FOS lebih efektif diperoleh dari sumber karbon ekstrak inulin. Produk FOS komersial yang dihasilkan selama masa inkubasi 60 jam berupa fruktofurasylnystosa, nystosa saat inkubasi 48 jam, 1-kestosa saat inkubasi 42 jam. Nilai DP FOS umumnya 2-10, tetapi nilai DP secara komersial FOS sebesar 3-5. DP 3, 1-kestosa (GF 3), DP 4, nystosa (GF 4), DP 5, fruktofurasylnystosa (GF 5) (Wang, *et al.*, 1999; Yuliana, *et al.*, 2014). Prebiotik dalam berbagai produk makanan telah banyak dilakukan, karena konsumen menyadari penggunaan FOS dalam produk pangan dapat meningkatkan imunitas atau kekebalan tubuh, meningkatkan penyerapan mineral Ca, memperbaiki fungsi gastrointestinal, dan meningkatkan densitas atau kepadatan mineral tulang (Khan & Singh, 2016).

Studi telah dilakukan dari penelitian artikel terdahulu bahwa FOS dapat dengan cara menghidrolisis 5% kadar inulin umbi dahlia menggunakan enzim inulinase. Hal ini ditentukan dengan menganalisis derajat polimerisasi (DP) produk terhidrolisis untuk menentukan apakah produk yang dikonversi termasuk FOS atau bukan. DP ditentukan dengan membagi total gula dengan nilai gula pereduksi. Produk yang terbentuk FOS ditunjukkan dengan DP bernilai 2-9, sementara produk fruktosa ditunjukkan dengan nilai DP 1 karena fruktosa merupakan monomer, dan jika nilai DP>9 berarti produk tersebut adalah inulin. Hasil yang didapatkan pada dosis enzim inulinase komersial 1; 2; 3; 5; 7,5; 10 (U/g), kadar FOS (% b/b) atau derajat konversi hidrolisis inulin tertinggi dihasilkan secara enzimatis dengan inulin inulinase komersial sebesar 29,86% inulinase dengan dosis 10 U/g, sementara dosis 3 U/g memiliki derajat konversi nilai FOS terendah sebesar 7,95%. Sedangkan pada enzim inulinase kasar dengan dosis sebesar 1; 2; 3 (U/g), kadar FOS (% b/b) atau derajat konversi hidrolisis inulin tertinggi sebesar 29,38% pada dosis 3 U/g, sementara dengan dosis 2 U/g memiliki derajat konversi terendah sebesar 15,41%. Sebagian besar rata-rata produk FOS dihasilkan dari hidrolisis inulin menggunakan inulinase kasar, sedangkan produk fruktosa menggunakan hidrolisis inulin dengan inulinase komersial (Suparwati, 2014).

Kajian Pustaka tentang Bioavailabilitas Kalsium (Ca)

Bioavailabilitas (BA) atau ketersediaan biologis (hayati) merupakan laju dan jumlah mineral dalam makanan yang dapat diabsorpsi dan digunakan oleh tubuh (Marsono, 2008). BA digunakan untuk menyatakan jumlah makanan dalam bentuk aktif/lengkap sebagai persentase dari dosis yang mencapai sirkulasi sistemik (BPOM, 2004). Menurut definisi, pemberian makan secara intravena menghasilkan bioavailabilitas sebesar 100%. Namun, ketika makanan diberikan melalui rute berbeda (seperti secara oral), bioavailabilitasnya sering berkurang atau menurun (karena makanan tersebut tidak sepenuhnya dapat diserap dan mengalami metabolisme lintas pertama) atau bervariasi dari orang ke orang. Persentase dan kecepatan bahan aktif dalam suatu produk pangan yang masuk ke sirkulasi sistemik yang utuh/aktif tersedia setelah pemberian produk pangan, dan kadar dalam darah dari waktu ke waktu atau dari ekskresinya ke dalam urin dapat diukur bioavailabilitasnya (Yun, *et al.*, 1999). Kandungan FOS pada umbi dahlia berfungsi meningkatkan bioavailabilitas mineral kalsium yang penting untuk darah dan tulang.

Kalsium (Ca) merupakan makromineral yang tidak mudah terurai di usus, jumlah kadar kalsium pada informasi gizi makanan pada label merupakan indikator makanan, namun belum tentu jumlah kalsium yang dapat diserap tubuh. Jumlah kadar Ca yang dapat diserap dan digunakan oleh tubuh disebut bioavailabilitas Ca. Bioavailabilitas Ca dapat dianalisis secara *in vivo* maupun *in vitro*. Namun, metode *in vitro* dianggap lebih menguntungkan dan lebih efektif karena praktis, lebih cepat, dan lebih murah daripada metode *in vivo* (Damayanthi & Rimbawan, 2008). Bioavailabilitas sangat penting karena harus diperhitungkan dalam menghitung dosis pemberian obat atau makanan rute non intravena. Pemberian makanan melalui jalur per oral, bioavailabilitasnya atau ketersediaan hayati hanya didefinisikan sebagai jumlah atau proporsi dosis. Bioavailabilitas kalsium berhubungan dengan persentase kalsium dalam makanan yang berpotensi diserap dan penggabungan kalsium yang diserap ke dalam tulang (Caroli, *et al.*, 2011). Bioavailabilitas kalsium menunjukkan jumlah kalsium yang dikonsumsi dengan rasio kalsium yang tersedia pada proses metabolisme (Miller, 1996). Penyerapan kalsium semakin efisien dengan tingginya kebutuhan dan rendahnya suplai makanan dalam tubuh (Syahrial & Handayani, 2020). Kadar atau kandungan kalsium

yang tinggi dalam suatu produk makanan tidak serta merta menjamin tingginya jumlah kalsium yang dapat diserap oleh tubuh. Oleh karena itu diperlukan pengetahuan tentang ketersediaan biologis atau bioavailabilitas kalsium (Puspita, 2003). Ketika bioavailabilitas (ketersediaan biologis) kalsium rendah maka lebih sedikit juga jumlah kalsium yang dapat diabsorpsi oleh tubuh (Purwawinangsih, 2011).

Bioavailabilitas mineral Ca merupakan istilah yang digunakan untuk menggambarkan jumlah mineral Ca dari pangan yang dapat diabsorpsi oleh tubuh (Caroli, *et al.*, 2011). Persentase bioavailabilitas Ca ditentukan berdasarkan jumlah mineral Ca pada pakan yang dikonsumsi dengan jumlah mineral Ca pada feses yang dikeluarkan (Fairweather-Tait, 1987). Kadar mineral Ca dapat diketahui dengan cara analisis feses. Kalsium yang dapat diserap harus dalam bentuk yang tersedia dan tetap dalam bentuk larutan ketika dilarutkan dalam asam lambung (Guéguen & Pointillart, 2000). 90% penyerapan kalsium terjadi di usus kecil atau usus halus (Wasserman, 2004) dan diserap baik dalam bentuk terionisasi terlarut (Ca^{2+}) atau terikat pada molekul organik terlarut untuk melintasi dinding usus (Fairweather-Tait, 1987). Lambung memberikan kontribusi sedikit untuk penyerapan kalsium (Pérez, *et al.*, 2008). Sisa penyerapan kalsium terjadi di usus besar dan kurang dari 10% (Barger-Lux, *et al.*, 1989).

Diketahui dari hasil penelitian terdahulu pada uji bioavailabilitas Ca dalam sirop umbi yakon, umbi yakon memiliki kadar Ca sebesar 230 ppm (Lachman, *et al.*, 2003), kadar inulin sekitar 70-80% dengan berat kering (Campos, Betalleluz-Pallardel, Chirinos, Aguilar-Galvez, Noratto, & Pedreschi, 2012) dan kandungan frukto oligosakarida (FOS) yang tinggi hingga mencapai 70% dari berat basah (Borromei, *et al.*, 2009). Telah dilakukan penentuan FOS pada sirop umbi yakon sebesar 221,3 g/L atau 22,13% (Kelvin, 2022) dengan karakteristik fisik dan sensorik yang mirip dengan madu atau sirop tebu (Manrique & Herman, 2005; Mohammad & Yuanita, 2021) memiliki nilai bioavailabilitas Ca secara *in vitro* sebagai berikut pada Tabel 2.

Tabel 2. Bioavailabilitas Ca pada Sirop Umbi Yakon H (Warna Hijau Kehitaman) Secara *In-vitro* (Sanjaya, *et al.*, 2020).

	Total	H1	H2	H3	H4	H5
Bioavailabilitas Ca (%)	100	69,51	68,00	63,45	163,67	116,73

Rata-rata bioavailabilitas Ca pada umbi yakon H (ekstraks hijau kehitaman) sebesar 96,27%.

Keterangan:

- H1 : Sirop umbi yakon H (warna hijau kehitaman) 1
- H2 : Sirop umbi yakon H (warna hijau kehitaman) 2
- H3 : Sirop umbi yakon H (warna hijau kehitaman) 3
- H4 : Sirop umbi yakon H (warna hijau kehitaman) 4
- H5 : Sirop umbi yakon H (warna hijau kehitaman) 5

Tabel 3. Bioavailabilitas Ca pada Sirop Umbi Yakon Warna K (Kuning Kehitaman) Secara *In-vitro* (Sanjaya, *et al.*, 2020).

	Total	K1	K2	K3	K4	K5
Bioavailabilitas Ca (%)	100	81,30	78,29	97,12	93,23	99,99

Rata-rata bioavailabilitas Ca pada umbi yakon K (ekstraks kuning kehitaman) sebesar 99,99%.

Keterangan:

- K1 : Sirop umbi yakon warna K (kuning kehitaman) 1
- K2 : Sirop umbi yakon warna K (kuning kehitaman) 2
- K3 : Sirop umbi yakon warna K (kuning kehitaman) 3
- K4 : Sirop umbi yakon warna K (kuning kehitaman) 4
- K5 : Sirop umbi yakon warna K (kuning kehitaman) 5

Berdasarkan dari data Tabel 4, perbandingan kadar Ca, inulin dan bioavailabilitas Ca diketahui bahwa prediksi nilai bioavailabilitas Ca pada sirop umbi dahlia terhadap sirop umbi yakon H (ekstraks hijau kehitaman) bernilai 82,16% sedangkan dari sirop umbi yakon K (ekstraks kuning kehitaman) bernilai 85,33%.

Berdasarkan dari data Tabel 5, perbandingan kadar Ca, FOS dan bioavailabilitas Ca diketahui bahwa prediksi nilai bioavailabilitas Ca pada sirop umbi dahlia terhadap sirop umbi yakon H (ekstraks hijau

kehitaman) bernilai 81,46%, sedangkan dari sirop umbi yakon K (ekstraks kuning kehitaman) bernilai 84,61%.

Tabel 4. Perbandingan Kadar Ca, Inulin dan Bioavailabilitas Ca

	Kadar Ca	Kadar Inulin	Kadar Ca/Kadar Inulin	Bioavailabilitas Ca
Yakon H	230 ppm = 0,023%	70-80% = rata-rata 75%	(0,0023 / 75)% = 0,0000307%	96,27%
Yakon K	230 ppm = 0,023%	70-80% = rata-rata 75%	(0,0023 / 75)% = 0,0000307%	99,99%
Sirop Umbi Dahlia (Berdasarkan perbandingan yakon H)	197,49 ppm = 0,019757%	65-86% = rata-rata 75,5%	0,019749% / 75,5% = 0,000262%	82,16%
Sirop Umbi Dahlia (Berdasarkan perbandingan yakon K)	197,49 ppm = 0,019757%	65-86% = rata-rata 75,5%	0,019749% / 75,5% = 0,000262%	85,33%

Tabel 5. Perbandingan Kadar Ca, FOS dan Bioavailabilitas Ca

	Kadar Ca	Kadar FOS	Kadar Ca/Kadar FOS	Bioavailabilitas Ca
Yakon H	230 ppm = 0,023%	22,13%	(0,023 / 22,13)% = 0,00104%	96,27%
Yakon K	230 ppm = 0,023%	22,13%	(0,023 / 22,13)% = 0,00104%	99,99%
Sirop Umbi Dahlia (Berdasarkan perbandingan yakon H)	197,49 ppm = 0,019757%	22,395%	(0,019749 / 22,395)% = 0,00088%	81,46%
Sirop Umbi Dahlia (Berdasarkan perbandingan yakon K)	197,57 ppm = 0,019757%	22,395%	(0,019749 / 22,395)% = 0,00088%	84,61%

Dari hasil perbandingan tersebut dapat disimpulkan bahwa bioavailabilitas Ca pada sirop umbi dahlia terhadap umbi yakon dengan perbandingan inulin berada pada range 82,16-85,33%. Sedangkan bioavailabilitas Ca pada sirop umbi dahlia terhadap umbi yakon dengan perbandingan inulin berada pada range 81,46-84,61%.

Dari Tabel 2 dan Tabel 3 diketahui bahwa umbi yakon memiliki rata-rata nilai bioavailabilitas Ca sekitar 96,27-99,99% (Sanjaya, *et al.*, 2020). Kadar Ca sebesar 230 ppm (Lachman, Fernández, & Orsák, 2003), kadar inulin rata-rata 75% (Campos, *et al.*, 2012) dan FOS pada sirop umbi yakon sekitar 22,31% (Kelvin, 2022). Hal tersebut berlaku pada sirop umbi dahlia yang memiliki kadar Ca sebesar 197,57 ppm, kadar inulin rata-rata sebesar 75,5% dan hasil FOS yang telah dihidrolisis dari inulin 5% sekitar 15,41-29,38% atau rata-rata sebesar 22,395%, memiliki bioavailabilitas Ca yang diprediksi dari perbandingan sirop umbi yakon yaitu sekitar 81,46-85,33%. Bioavailabilitas Ca yang cukup tinggi ini kemungkinan juga dipengaruhi adanya kandungan inulin dan FOS pada umbi dahlia, sesuai dengan penelitian yang telah terjadi bahwa inulin dan FOS dapat meningkatkan bioavailabilitas mineral termasuk kalsium. Inulin dapat meningkatkan penyerapan atau absorpsi kalsium sehingga dapat mengurangi resiko osteoporosis (Kaur & Gupta, 2002). Sehingga bioavailabilitas Ca ini dapat bermanfaat untuk kesehatan jantung dan kesehatan tulang.

Simpulan

Berdasarkan penelitian dan studi literatur yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa umbi dahlia (*Dahlia pinnata Cav.*) mengandung inulin yang cukup tinggi sekitar 65-86% dan kadar kalsium sebesar 197,57 ppm. Kadar FOS diperoleh dari hidrolisis inulin 5% umbi dahlia diperoleh FOS sekitar 15,41-29,38% atau rata-rata sebesar 22,395%, diprediksi memiliki bioavailabilitas Ca sekitar 81,46-85,33%. Kandungan inulin yang cukup tinggi pada umbi dahlia tersebut dapat meningkatkan penyerapan kalsium pada tubuh. Sehingga sirup umbi dahlia ini dapat digunakan untuk kesehatan jantung dan tulang.

Daftar Referensi

- Adebola, O., Corcoran, O., & Morgan, W. 2014. Synbiotics: The Impact of Potential Prebiotics Inulin, Lactulose and Lactobionic Acid on The Survival and Growth of Lactobacilli Probiotics. *Journal of Functional Foods*, 10: 75–84.
- Agustina, A. S. 2019. Pengaruh Penambahan Ion Logam Ca^{2+} dan Na^+ Pada Prebiotik Dari Kulit Singkong Terhadap Kualitas Ayam Pedaging (Broiler). *Doctoral Dissertation*.
- Ahmed, W., & Rashid, S. 2019. Functional and Therapeutic Potential of Inulin: A Comprehensive Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(1): 1-13.
- Alles, M. J., & Zapata, N. C. 2015. Concentration and Purification of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) Root Fructooligosaccharides Using Membrane Technology. *Food Technology and Biotechnology*, 53(2): 190-200.
- Amran, P. (2018). Analisis Perbedaan Kadar Kalsium (Ca) Terhadap Karyawan Teknis Produktif Dengan Karyawan Administratif Pada Persero Terbatas Semen Tonasa. *Jurnal Media Analisis Kesehatan*, 1(1): 1-7.
- Aprilia, R., Mahfudz, L. D., Sunarti, D., & Kismiati, S. 2021. Pemanfaatan Sinbiotik Ekstrak Inulin Umbi Gembili dengan *Lactobacillus plantarum* terhadap Kualitas Interior Telur Itik Penggingl. *Jurnal Sains Peternakan Indonesia*, 16(2): 186-193.
- Apriyanto, D., & Sanjaya, I. G. (2014). Pengaruh Lama Penyimpanan dan Lama Perebusan Umbi Yacon (*Smallanthus Sonchifolius*) Terhadap Bioavailabilitas Zn dan Mg. *Unesa Journal of Chemistry*, 3(3).
- Badan Pengawas Obat dan Makanan Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia. 2004. Nomor: HK .00.05.3.1818 Tentang Pedoman Uji Bioekivalensi. Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan RI.
- Barger-Lux, M. J., Heaney, R. P., & Recker, R. R. 1989. Time Course Of Calcium Absorption In Humans: Evidence For a Colonic Component. *Calcified tissue international*, 44(5): 308-311.
- Borromei, C., Careri, M., Cavazza, A., Corradini, C., Elviri, L., Mangia, A., et al. 2009. Evaluation of Fructooligosaccharides and Inulin As Potentially Health Benefiting Food Ingredients by HPAEC-PED and MALDI-TOF MS. *International journal of analytical chemistry*.
- Bronner, F. 1987. Intestinal Calcium Absorption: Mechanisms And Applications. *The Journal of Nutrition*, 117: 1347–52.
- Campos, D., Betalleluz-Pallardel, I., Chirinos, R., Aguilar-Galvez, A., Noratto, G., & Pedreschi, R. 2012. Prebiotic Effects Of Yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl), A Source Of Fructooligosaccharides and Phenolic Compounds With Antioxidant Activity. *Food Chemistry*, 135(3): 1592-1599.
- Cao, Y., Ma, Z. F., Zhang, H., Jin, Y., Zhang, Y., & Hayford, F. 2018. Phytochemical Properties and Nutrigenomic Implications Of Yacon As a Potential Source Of Prebiotic: Current Evidence and Future Directions. *Foods*, 7(4): 59.
- Caroli, A., Poli, A., Ricotta, D., Banfi, G., & Cocchi, D. 2011. Invited Review: Dairy Intake and Bone Health: A Viewpoint From The State Of The Art. *Journal of Dairy Science*, 94(11): 5249-5262.
- Cashman, K. A. 2006. Prebiotic Substance Persistently Enhances Intestinal Calcium Absorption and Increases Bone Mineralization In Young Adolescents. *Nutr Reviews*, 6 (4): 189–196.
- Cashman, K. 2003. Prebiotics and Calcium Bioavailability. *Current Issues in Intestinal Microbiology*, 4: 21-32.
- Castro, A., Céspedes, G., Carballo, S., Bergenståhl, B., & Tornberg, E. 2013. Dietary Fiber, Fructooligosaccharides, and Physicochemical Properties Of Homogenized Aqueous Suspensions Of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Food Research International*, 50(1): 392-400.

- Chen, H. L., Lu, Y. H., & Ko, L. Y. 2000. Effects of Fructooligosaccharide On Bowel Function and Indicators Of Nutritional Status In Constipated Elderly Men. *Nutrition Research*, 20(12), 1725-1733.
- Coxam, V. 2005. Inulin-Type Fructans and Bone Health: State of The Art and Perspectives in The Management of Osteoporosis. *British Journal of Nutrition*, 93: 111-123.
- Daly, K., & Fenelon, A. 2017. A Rapid and Multi-Element Method for the Analysis Of Major Nutrients in Grass (*Lolium perenne*) Using Energy-Dispersive X-Ray Fluorescence Spectroscopy. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 1-11.
- Damayanthi, E., & Rimbawan. 2008. *Penuntun Praktikum Evaluasi Nilai Gizi*. Bogor: Departemen Gizi Masyarakat, Fakultas Ekologi manusia, Institut Pertanian Bogor.
- Dwiyitno, D. 2011. Seaweed As A Potential Source Of Dietary Fiber. *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*, 6(1): 9-17.
- Elok, Z., & Wilda, A. 2013. Comparative Study Of Inulin Extracts From Dahlia, Yam, And Gembili Tuber As Prebiotic. *Food and Nutrition Sciences*. 4(11A).
- Fairweather-Tait, S. J. 1987. The Concept Of Bioavailability As It Relates to Iron Nutrition. *Nutrition Research*, 7(3): 319-325.
- Falony, G., Lazidou, K., Verschaeren, A., Weckx, S., Maes, D., & DeVuyst, L. 2009. In vitro Kinetic Analysis Of Fermentation Of Prebiotic Inulin-Type Fructans by Bifidobacterium Species Reveals Four Different Phenotypes. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(2): 454-461.
- Gallagher, M. L. 2008. *The Nutrients and Their Metabolism* (12th ed.). (L. K. Mahan, & S. E. Stump, Eds.) Missouri: Saunders Elsevier.
- Guéguen, L., & Pointillart, A. 2000. The Bioavailability Of Dietary Calcium. *Journal of the American College of Nutrition*, 19(2): 119S-136S.
- Haryani, Y., Muthmainnah, S., & Sikumbang, S. 2013. Uji Parameter Non Spesifik dan Aktivitas Antibakteri Ekstrak Metanol dari Umbi Tanaman Dahlia (*Dahlia variabilis*). *J. Penelitian Farmasi Indo*, 1(2): 43-46.
- He, Q., Lv, Y., & Yao, K. 2007. Effects of Tea Polyphenols On The Activities Of A-Amylase, Pepsin, Trypsin And Lipase. *Food Chemistry*, 101(3): 1178-1182.
- Heaney, R. 1996. *Nutrition and Risk for Osteoporosis*. (R. Marcus, D. Feldman, & J. Kelsey, Eds.) San Diego: Academic Press.
- Herianto, E., Raswen, E., & Yelmira, Z. 2018. Pengaruh Lama Penyimpanan Terhadap Karakteristik Umbi Dahlia. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Pertanian*, 5(1): 1-11
- Hermiani, A. 2012. Dahlia Tubers: Potency, Role, and Prospect of Their Development. *Jurnal Pangan*, 21 (4): 397-406.
- Horiza, H., Azhar, M., & Efendi, J. 2017. *Ekstraksi dan Karakterisasi Inulin dari Umbi Dahlia (Dahlia sp. L) Segar dan Disimpan*. Eksakta: Berkala Ilmiah Bidang MIPA.
- Irwan. 1996. *Prinsip-prinsip Ekologi, Ekosistem, Lingkungan dan Pelestariannya*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Jain, S. C., Jain, P. C., & Kango, N. 2012. Production of Inulinase from *Kluyveromyces Marxianus* Using Dahlia Tuber Extract. *Brazilian Journal of Microbiology*, 43: 62-69.
- Kaur, N., & Gupta, A. K. 2002. Applications of inulin and Oligofructose In Health and Nutrition. *Journal Of Biosciences*, 27(7): 703-714.
- Kelvin, R. K. 2022. The Effect Of Yacon Tubers Syrup On Calcium Content Of Femoral Bone In White Rats (*Rattus Norvegicus*). *UNESA Journal of Chemistry*, 11(1): 9-17.
- Khan, A. D., & Singh, L. 2016. Various Techniques Of Bioavailability Enhancement: A Review. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 6(3): 34-41.
- Kolida, S., K., T., & Gibson, G. 2002. Prebiotic Effects of Inulin and Oligofructose. *British Journal Of Nutrition*, 87(2): 193-197.
- Krismaputri, M., Suthama, N., & Sukamto, Y. 2016. Pemberian Soybean Oligosaccharides dari Ekstrak Bungkil Kedelai Terhadap pH Usus, Populasi E.coli, dan PBBH pada Broiler. *Agromedia*, 12(2): 20-25.
- Kumar, C. G., Sripada, S., & Poornachandra, Y. 2018. Status and Future Prospects Of Fructooligosaccharides As Nutraceuticals. *In Role Of Materials Science In Food Bioengineering*, 451-503.

- Kurniawan, F. B. 2015. *Praktikum Kimia Klinik Analisis Kesehatan*. Jakarta: Buku Kedokteran EGC.
- Lachman, J., Fernández, E. C., & Orsák, M. 2003. Yacon [*Smallanthus sonchifolia* (Poepp. et Endl.) H. Robinson] Chemical Composition and Use-A Review. *Plant Soil and Environment*, 49(6): 283-290.
- Liang, Jianfen, Han, B.-Z., Robert, N. M., & Robert, J. H. 2008. Effect of Soaking, Germination and Fermentation on Phytic Acid, Total and In Vitro Soluble Zinc in Brown Rice. *Food Chemistry*, 1(10): 821-828.
- Manrique, I. A., & Hermann, M. 2005. *Yacon syrup: Principles and Processing* (Vol. 8). International Potato Center.
- Manrique, I., Parraga, A., & Herman, M. 2005. *Yacon Syrup: Principles and Processing*. Peru: Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Marcinek, B., Parzymies, M., Poniewozik, M., & Kozak, D. 2019. The Influence of Growth Regulators on Dahlia Propagation in Tissue Culture and Acclimatization of Plants in Ex Vitro Conditions. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 18(5): 49-61.
- Marsono, Y. 2008. Prospek Pengembangan Makanan Fungsional. *Jurnal Teknologi Pangan dan Gizi*, 7 (1).
- Matteuzzi, D., Swennen, E., Rossi, M., Hartman, T., & Lebet, V. 2004. Prebiotic effects of a wheat germ preparation in human healthy subjects. *Food Microbiology*, 21(1): 119-124.
- Maulidah, E. Y., & Yuanita, L. 2022. Pengaruh Pemberian Sirup Prebiotik Umbi Yacon Terhadap Aktivitas Enzim Pencernaan Pada Duodenum Rattus Norvegicus. *UNESA Journal of Chemistry*, 11(1).
- Mensink, M. A., Frijlink, H. W., Maarschalk, K. V., & Hinrichs, W. L. 2015. Inulin, a Flexible Oligosaccharide I: Review of its Physico Chemical Characteristic. *Carbohydrate Polymers*, 130: 405-419.
- Miller, D. 1996. *Minerals: Food Chemistry*. (O. Fennema, Ed.) New York: Macel Dekker Inc.
- Mohammad, A. W., & Yuanita, L. 2021. Pengaruh Sirup Umbi Yacon Terhadap Bioavailabilitas Fe (Zat Besi) Rattus Norvegicus. *UNESA Journal of Chemistry*, 10(3).
- Murwindra, R., Linggawati, A., Yanti, P., Awaluddin, A., & Saryono. 2016. Produksi Asam Levulinat dari Inulin Umbi Dahlia (*Dahlia sp.L*) Menggunakan Katalis Asam Klorida. *Jurnal Natur Indonesia*, 16(2): 64-71.
- Ooi, L. G., & Liong, M. T. 2010. Cholesterol-Lowering Effects Of Probiotics and Prebiotics: A Review Of In Vivo and In Vitro Findings. *International Journal Of Molecular Sciences*, 11(6): 2499-2522.
- Pamungkas, A. N., Apriandi, A., & Suhandana, M. 2019. Analisis Kandungan Vitamin dan Mineral Dari Buah Beruwas Laut (*Scaevola taccada*). *Marinade*, 2(2).
- Panalytical, B. 2009. *X-Ray Fluorescence Spectrometry*. Netherlands.
- Pérez, A. V., Picotto, G., Carpentieri, A. R., Rivoira, M. A., López, M. E., & De-Talamoni, N. G. 2008. Minireview On Regulation Of Intestinal Calcium Absorption. *Digestion*, 77(1): 22-34.
- Petkova, N. T., Sherova, G., & Denev, P. P. 2018. Characterization Of Inulin From Dahlia Tubers Isolated By Microwave And Ultrasound-Assisted Extractions. *International Food Research Journal*, 25(5).
- Prayoga, T. 2018. Analisis Kandungan Mineral Kadmium, Kalium, Kalsium dan Natrium pada Umbi Gadung (*Dioscorea hispida* Dennst.) secara Spektrofotometri Serapan Atom. *Skripsi*.
- Purwawinangsih, E. F. 2011. *Ketersediaan Biologis (Bioavailabilitas) Kalsium Secara In Vitro Pada Crackers Dengan Tepung Kepala Ikan Lele Dumbo (Clarias gariepinus)*. Bogor: Fakultas Ekologi Manusia IPB.
- Puspita, I. D. 2003. Bioavailabilitas Kalsium Secara In Vitro Pada Susu Bubuk yang diberi Klaim High Calcium Dengan Penambahan Serat dan Tanpa Penambahan Serat yang Beredar di Pasaran. *Skripsi*.
- Roberfroid, M. B. 2000. Chicory Fructooligosaccharides And The Gastrointestinal Tract. *Nutrition*, 16(7-8): 677-679.
- Roberfroid, M. 2005. Introducing Inulin-Type Fructans. *British Journal of Nutrition*, 93(1): S13-S25.
- Rodrigues, D., Rocha-Santos, T. A., Pereira, C. I., Gomes, A. M., Malcata, F. X., & Freitas, A. C. 2011. The Potential Effect of FOS and Inulin Upon Probiotic Bacterium Performance in Curdled Milk Matrices. *LWT-Food Science and Technology*, 44(1): 100-108.
- Rolim, P. M. 2015. Development Of Prebiotic Food Products And Health Benefits. *Food Science and Technology*, 35: 3-10.

- Ross, A. C., Taylor, C. L., Yaktine, A. L., & Del Valle, H. B. 2011. Committee to Review Dietary Reference Intakes For Vitamin D and Calcium. Food And Nutrition Board.
- Rukmana, R. 2000. *Usaha Tani Jahe Dilengkapi dengan Pengolahan Jahe Segar*. Yogyakarta: Kanisius.
- Sandberg, A. S. 2002. Bioavailability of Mineral in Legumes. *British Journal of Nutrition*, 3: S281-S28.
- Sandiya, A., Retnaningtyas, Y., & Wulandari, L. 2014. Determinasi Inulin dalam Sampel Ekstrak Umbi Dahlia (*Dahlia spp L.*) yang Ditanam pada Media Tanah dan Polybag dengan Metode KLT-Densitometri. *Pustaka Kesehatan*, 2(2): 199-204.
- Sanjaya, I., Yuanita, L., & Wikandari, P. R. 2020. Pengembangan Ekstrak Atau Sirop Yacon [*Smallanthus Sonchifolia* (Poepp. Et Endl.) H. Robinson] Untuk Kesehatan Atlet. *Laporan Penelitian Unesa*.
- Saryono, & Hindersah, R. 2000. Maximizing The Function of Dahlia Tuber. *Indian Dahlia Ann*, 33-36.
- Saryono, & Reginawanti, H. 2009. *Tanaman Dahlia: Potensi Bahan Alami Sumber Karbohidrat dan Senyawa Bioaktif*. Pekanbaru-Riau: UNRI Press.
- Scholz-Ahrens, K., & Schrezenmeir, J. 2007. Inulin and Oligofructose and Mineral Metabolism: The Evidence From Animal Trials. *The Journal Of Nutrition*, 137(11): 2513S-2523S.
- Setiarto, R. H., Widhyastuti, N., Saskiawan, I., & Safitri, R. M. 2017. The Inulin Variation Concentration Effect in Fermentation Using *L. acidophilus*, *L. bulgaricus* and *S. thermophilus*. *Biopropal Industri*, 8(1): 1-7.
- Shindyanna, T. 2021. Studi Literatur Kemampuan Berbagai Jenis Rempah Dalam Menstimulasi Pertumbuhan Bakteri Asam Laktat (BAL). *Doctoral dissertation*.
- Simvianny, V. 2021. Tinjauan Terhadap Potensi Penggunaan Umbi Yacon (*Smallanthus Sonchifolius*) Sebagai Pemanis Alami Dalam Produk Pangan. *Doctoral Dissertation*.
- Singh, R., Singh, R. P., & Kennedy, J. F. 2016. Recent Insights In Enzymatic Synthesis Of Fructooligosaccharides From Inulin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 85: 565-572.
- Suparwati, R. 2014. Produksi Fructooligosakarida Dari Inulin Umbi Dahlia (*Dahlia pinnata*) Secara Hidrolisis Enzimatis. *Skripsi*.
- Suparwati, R., Mangunwidjaja, D., & Rahayuningsih, M. 2014. Pengaruh Konsentrasi Enzim dan Waktu Hidrolisis Enzimatis terhadap Mutu Fructooligosakarida dari Inulin Umbi Dahlia (*Dahlia Pinnata*). *E-jurnal Agro-Industri Indonesia*, 3(2).
- Susilowati, A., Aspiyanto, Melanie, H., Iskandar, Y. M., & Maryati, Y. 2015. Recovery of Inulin Fiber from Local Red Dahlia (*Dahlia sp. L*) Tuber through Enzymatic Hydrolysis using *Aspergillus sp.-CBS5* and *Bacillus sp.-CBS 6* for Functional Food. *Procedia Chemistry*, 16: 39-46.
- Sutiari, N. K. 2017. *Mineral Makro Kalsium*. Denpasar: Universitas Udayana.
- Syahrial, S., & Handayani, M. 2020. Pengaruh Waktu Milling dengan Ukuran Nano Serbuk Daun Kelor (*Moringa Oleifera*) dan Hubungannya dengan Bioavailabilitas secara In-Vitro dan In-Vivo. *Action: Aceh Nutrition Journal*, 5(2): 121-129.
- Ten Bruggencate, S. J., Bovee-Oudenhoven, I. M., Lettink-Wissink, M. L., Katan, M. B., & Van, d. M. 2006. Dietary fructooligosaccharides affect intestinal barrier function in healthy men. *The Journal of nutrition*, 136(1): 70-74.
- Uddin, H. K., Alaama, M. A., Abdulkader, M., Kasmuri, A., & Abbas, S. A. 2016. Comparative Study Of Three Digestion Methods For Elemental Analysis In Traditional Medicine Products Using Atomic Absorption Spectrometry. *Journal Of Analytical Science and Technology*, 7(6): 1-7.
- Vinayananda, S. 1994. *Dahlia: Potential for Export*. In *Floriculture Technology, Trades and Trends*, Eds. Parkash, J. and K.R. Bhandar. New Delhi: Oxford and IBH Publishing Co.
- Wang, J., Sporns, P., & Low, N. H. 1999. Analysis of Food Oligosaccharides Using MALDI-MS: Quantification Of Fructooligosaccharides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(4): 1549-1557.
- Wasserman, R. H. 2004. Vitamin D and The Dual Processes Of Intestinal Calcium Absorption. *The Journal of nutrition*, 134(11): 3137-3139.
- Widiarsih, C. 2018. Gambaran Kadar Kalsium Darah Pada Perokok Aktif Di Banjar Taman Desa Adat Tegal Darmasaba Kecamatan Abiansemal Kabupaten Badung. *Thesis*.

- Widiastuti, L. 2020. Respon Tanaman Dahlia (*Dahlia Pinnata*) Pada Berbagai Macam Media Tanam dan Pupuk Organik Cair. *Agrisaintifika: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 3(2): 141.
- Widowati, S., Titi, C., & Zahrani. 2005. Ekstraksi, Karakterisasi, dan Kajian Potensi Prebiotik Inulin dari Umbi Dahlia (*Dahlia pinnata L.*). *Jurnal IPB*.
- Winarti, S., Eni, H., Yustinus, M., & Yudi, P. 2013. Pengaruh Foaming Pada Pengeringan Inulin Umbi Gembili (*Dioscorea Esculenta*) Terhadap Karakteristik Fisiko-Kimia dan Aktivitas Prebiotik. *Agritech*, 3(4): 424-432.
- Winarti, S., Harmayani, E., & Nurismanto, R. 2011. Karakteristik dan Profil Inulin Beberapa Jenis Uwi (*Dioscorea app.*). *AGRITECH*, 31(4): 378-383.
- Wolfgang, W., & Südzucker, A. 2004. *Fructose*. In: *Electronic Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (7th ed.). Germany: Hubert P (ed): Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Yan, M. R., Welch, R., Rush, E. C., Xiang, X., & Wang, X. 2019. A Sustainable Wholesome Foodstuff; Health Effects and Potential Dietotherapy Applications Of Yacon. *Nutrients*, 11(11): 2632.
- Yuliana, R., Kusdiyantini, E., & Izzati, M. 2014. Potensi tepung Umbi Dahlia Dan Ekstrak Inulin Dahlia Sebagai Sumber Karbon Dalam Produksi Fruktosa oligosakarida (FOS) oleh khamir *Kluyveromyces marxianus* DUCC-Y-003. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, 16(1): 39.
- Yun, J. W., Choi, Y. J., Song, C. H., & Song, S. K. 1999. Microbial Production Of Inulo-Oligosaccharides By An Endoinulinase From *Pseudomonas* sp. Expressed In *Escherichia Coli*. *Journal Of Bioscience and Bioengineering*, 87(3): 291-295.
- Zeaiter, Z., Regonesi, M. E., Cavini, S., Labra, M., Sello, G., & DiGennaro, P. 2019. Extraction and Characterization of Inulin-Type Fructans from Artichoke Wastes and Their Effect on The Growth of Intestinal Bacteria Associated With Health. *BioMed Research International*.
- Zubaidah, E., & Akhadiana, W. 2013. Comparative Study of Inulin Extracts from Dahlia, Yam, and Gembili Tubers as Prebiotic. *Food and Nutrition Sciences*, 4: 8-12.