

**LAPORAN PENELITIAN
PUSAT UNGGULAN IPTEKS**



**JUDUL PENELITIAN:
PENGEMBANGAN EKSTRAK ATAUPUN SIRUP YACON [SMALLANTHUS
SONCHIFOLIA (POEPP.ET ENDL.) H.ROBINSON] UNTUK KESEHATAN ATLET**

TIM PENGUSUL:

Dr. I Gusti Made Sanjaya, M.Si.	NIDN 0004126505
Prof. Dr. LenyYuanita, M. Kes.	NIDN 0012095107
Dr.Prima RetnoWikandari, M.Si.	NIDN 0015116402

**UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA
NOVEMBER 2020**

HALAMAN PENGESAHAN
PENELITIAN PUSAT UNGGULAN IPTEKS

Judul Penelitian : PENGEMBANGAN EKSTRAK ATAUPUN SIRUP YACON
[SMALLANTHUS SONCHIFOLIA (POEPP.ET ENDL.)
H.ROBINSON] UNTUK KESEHATAN ATLET

Kode/Nama Rumpun Ilmu : 110 / Kimia
Bidang Fokus Penelitian : Kesehatan-Obat
Ketua Peneliti

a. Nama Lengkap : Dr. I Gusti Made Sanjaya, M.Si
b. NIDN : 0004126505
c. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
d. Program Studi : Kimia
e. Nomor HP : 081233602565
f. Alamat surel (e-mail) : igmasanjaya@unesa.ac.id

Anggota Peneliti (1)
a. Nama Lengkap : Prof. Dr. LenyYuanita, M.Kes.
b. NIDN : 00120995107
c. Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Surabaya

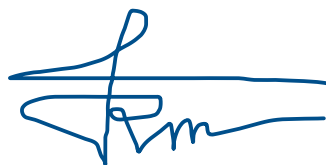
Anggota Peneliti (2)
a. Nama Lengkap : Dr. Prima RetnoWikandari, M.Si
b. NIDN : 0015116402
c. Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Surabaya

Institusi Mitra
a. Nama Institusi Mitra : KONI Jawa Timur
b. Alamat : Gedung Suhartatik, Jl. Kertajaya Indah Timur IV/5, Surabaya
c. Penanggung Jawab : Ketua KONI Jawa Timur

Lama Penelitian Keseluruhan : 2 tahun
Usulan Penelitian Tahun ke- : 1 (satu)
Biaya Penelitian Keseluruhan : Rp 75.000.000 (tujuh puluh lima juta)
Biaya Penelitian :
- diusulkan ke LPPM UNESA : Rp 75.000.000
- dana institusi mitra : Rp - / in kind tuliskan: -

Surabaya, 04 -12- 2020

Ketua Peneliti,



(Dr. I Gusti Made Sanjaya, M.Si.)
NIP 196512041993021001

Mengetahui,
Dekan Fakultas MIPA



(Prof. Dr. Madlazim, M.Si.)
NIP 196511051991031012



Prof. Dr. Dami M. Hum
NIP 196509261990022001

RINGKASAN

Seorang atlet di samping membutuhkan asupan gizi yang tepat untuk ketahanan tubuh, juga membutuhkan serat pangan yang berfungsi melancarkan pencernaan dan antioksidan agar berat badan dan kondisi tubuh stabil. Sumber yang baik untuk menghasilkan asupan semacam ini antara lain adalah umbi yacon. Umbi tumbuhan ini mengandung prebiotik FOS (fruktooligosakarida) yang merupakan pemanis alami berkalori rendah yang mampu mempertahankan glukosa darah dan mencegah hiperkolesterol. FOS berfungsi mencegah stres gastro-intestinal, meningkatkan bioavailabilitas mineral besi, kalsium yang dibutuhkan darah dan tulang. Umbi yacon menjadi pemanis antidiabetes, karena memiliki indeks glikemik yang sangat rendah yang tidak meningkatkan dan menjaga kesetimbangan gula darah. Konsumsi umbi yacon sebelum berolahraga cenderung membakar lemak untuk energi dan menghemat glikogen otot. Ini membuat menjadi berenergi, tidak mudah dan cepat mengatasi kelelahan, memiliki pikiran tajam, dan memaksimalkan kinerja atlet. Umbi yacon mengandung banyak kalium sebagai vasodilator yang berfungsi menurunkan tekanan darah. Komponen bioaktif utama lain dalam umbi yacon adalah asam klorogenat (CA) yang berfungsi sebagai antioksidan, anti hiperglikemik dan hiperlipidemik

Umbi yacon dapat dikonsumsi secara efektif dalam bentuk ekstrak ataupun sirup yacon. Ekstrak umbi yacon atau sirup yacon memiliki warna hijau gelap kehitaman. Sirup tersebut menjadi berwarna hijau kuning cerah bila ditambahkan inhibitor. Sirup merupakan cairan kental dengan rasa manis dan enak. Konsumsi sirup yacon dapat meminimalkan penyimpanan lemak tubuh dan meningkatkan daya tahan tubuh. Faktor yang langsung mempengaruhi kadar sakarida, FOS, dan CA yacon dalam proses pengolahan antara lain enzim, pH dan suhu. Agar komponen bioaktif FOS dan CA tersedia optimum maka pengolahan ekstrak ataupun sirup yacon harus dikontrol dan komponen bioaktif harus dilindungi.

Kandungan FOS dan asam klorogenat dalam sirup dapat dipertahankan dengan cara enkapsulasi. Kombinasi kaffa karagenan-locus bean gum dengan perbandingan 1:1 menghasilkan bead enkapsulasi terbaik. Kepastian enkapsulasi dihasilkan dari analisis dengan SEM dan FTIR. Pada proses enkapsulasi terjadi perubahan gugus fungsi dan ikatan kimia yang dapat ditelusuri dengan menggunakan analisis FTIR terhadap bahan murni dan bahan yang telah berkombinasi.

Efisiensi tertinggi enkapsulasi diperoleh dari kombinasi bahan Kaffa Karagenan-Pektin 1:1. Desolusi terendah rata-rata dihasilkan pada kombinasi Kaffa Karagenan-Alginat. Nilai bioavailabilitas mineral Fe dan Ca dari ekstrak kuning lebih baik dibandingkan dengan ekstrak hijau kehitaman baik secara in-vitro maupun secara in-vivo.

KATA PENGANTAR

Puji dan puji dihaturkan kepada Tuhan Yang Mahaesa. Atas anugrah-Nya, penulisan laporan penelitian ini dapat diselesaikan.

Penelitian ini mengkaji tentang pembuatan sirup yacon dari ekstrak umbi yacon. Kajian ini bersifat penting karena sirup yacon diprediksi memiliki manfaat kesehatan bagi para atlet seperti untuk mencegah dan mengobati diabetes, memperbaiki kinerja jantung, mencegah anemia, menjaga kesehatan tulang dan gigi, serta manfaat lainnya.

Penyelesaian laporan penelitian ini tidak terlepas dari berbagai macam kekurangan. Untuk itu saran dan kritik sangat diharapkan untuk penyempurnaannya. Di samping itu, penulisan laporan ini telah banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini, penulis mengucapkan banyak-banyak terimakasih kepada:

1. Rektor Universitas Negeri Surabaya yang telah memberikan hibah penelitian
2. Ketua LPPM Unesa, Dekan FMIPA Unesa, dan Ketua Jurusan Kimia Unesa yang telah menyediakan fasilitas penelitian
3. Prof. Dr. I Made Sriundy M, M.Pd. dan Dr. Oce Wirawan, M.Kes selaku pemonev penelitian
4. Semua kolega dan berbagai pihak yang membantu penelitian ini.

Surabaya, November 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
RINGKASAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1. 3. Tujuan Penelitian.....	4
1. 4. Sasaran Penelitian.....	4
1. 5. Urgensi Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. State of the Art.....	5
2.2. Road Map Penelitian.....	8
BAB III METODE PENELITIAN	9
3.1. Tahapan Pelaksanaan Penelitian.....	9
3.2 Luaran dan target capaian.....	12
3.2.1. Target Luaran	12
3.2.2. Luaran produk penelitian	12
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	13
4.1. Hasil penelitian.....	13
4.1.1. Ekstrak atau sirup yacon	13
4.1.2. Enkapsulasi ekstrak umbi yacon	13
4.1.3. Bioavailabilitas Mineral	26
4.2. Pembahasan.....	30
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	34
5.1. Kesimpulan.....	34
5.2. Saran	34
DAFTAR PUSTAKA.....	35
Lampiran 1. Kadar Air Sampel Ekstrak Yacon yang Dikeringbekukan.....	38
Lampiran 2. Hasil Pengukuran Efisiensi asam klorogenat (CA)	39
Lampiran 3. Hasil Pengukuran desolusi asam klorogenat (CA).....	40
Lampiran 4. Hasil Pengukuran Availabilitas Mineral In-Vivo.....	43
Lampiran 4 Pengesahan Pembahas	45

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Para atlet butuh nutrisi yang tepat seperti protein, lemak, karbohidrat, vitamin, mineral, serat pangan (SP), dan antioksidan [1]. SP berfungsi memperlancar pencernaan agar berat badan dan stamina atlet stabil [2]. Antioksidan mencegah pembentukan radikal bebas untuk kesehatan [3]. Prebiotik inulin dan FOS (Fructooligosaccharides) merupakan pemanis berkalori rendah serta antioksidan asam klorogenat (CA, *chlorogenic acid*) mampu mempertahankan glukosa darah, mencegah hiperkolesterol dan stres gastrointestinal, meningkatkan bioavailabilitas mineral besi dan kalsium yang dibutuhkan darah dan tulang, mencegah pembentukan radikal bebas untuk kesehatan [4].

FOS merupakan SP larut prebiotik yang efektif bagi kesehatan kolon, pencernaan, dan meningkatkan bioavailabilitas mineral seperti besi dan kalsium [5]. Mineral besi dibutuhkan pada pembentukan hemoglobin yang penting untuk mengangkut dan menyebarkan oksigen ke seluruh tubuh dan mengangkut karbon dioksida untuk dibuang melalui paru-paru [6]. Mineral kalsium selain mencegah rapuh tulang, juga mencegah penyempitan pembuluh darah untuk memperlancar aliran darah [7]. Mineral-mineral ini sangat penting pada proses pembentukan energi melalui metabolisme aerob glukosa. Metabolisme glukosa melalui jalur piruvat dengan membentuk asetil-CoA (glikolisis aerob) sebagai dasar pembentukan ATP daripada pembentukan laktat darah (glikolisis anaerob). Konversi glukosa menjadi karbon dioksida dan air melalui glikolisis aerob menghasilkan 38 molekul ATP dengan energi yang jauh lebih tinggi dibandingkan konversi glukosa melalui glikolisis anaerob yang hanya menghasilkan dua molekul ATP [8]. Ini membuat tubuh atlet menjadi bertenaga dan cepat mengatasi kelelahan akibat penumpukan laktat darah.

Sumber FOS, inulin, dan CA yang baik adalah umbi yacon [9]. FOS adalah oligosakarida dengan polimerisasi 2-9 (glukosa-(fruktosa)_n= GF_n), terutama GF₂, GF₃, GF₄ sedangkan inulin memiliki polimerisasi GF₃₅ [10]. CA mempunyai rumus molekul C₁₆H₁₈O₉ [11]. Umbi yacon dapat dipakai sebagai anti diabetes karena indeks glikemik sangat rendah [9]. Indeks glikemik sedemikian rupa memperlambat pembentukan dan menjaga keseimbangan glukosa darah. Kalau tubuh atlet hanya menggunakan gula darah sebagai sumber energi, ini menyebabkan pembentukan laktat darah dan penumpukan ion H⁺ secara cepat yang menghasilkan asidosis sebagai sumber kelelahan. Akumulasi asam laktat dalam otot, bahkan diperkirakan sebagai penyebab utama kelelahan otot [12].

Konsumsi umbi yacon membuat berenergi, pikiran tajam, dan memaksimalkan kinerja atlet [13]. Konsumsi umbi yacon sebelum berolahraga, menyebabkan tubuh atlet cenderung membakar lemak untuk energi dan menghemat glikogen otot [14]. Energi yang dihasilkan dari pembakaran lemak jauh lebih tinggi dibandingkan pembakaran karbohidrat seperti glukosa [15]. Indeks glikemik yang sangat rendah ini menyebabkan metabolisme untuk pembentukan laktat darah (glikolisis anaerob) menjadi rendah. Hal ini menyebabkan tubuh atlet menjadi bertenaga dan menunda tercapainya kelelahan.

Kandungan air dan kalium umbi yacon tinggi sehingga baik untuk menurunkan tekanan darah. Kalium adalah vasodilator untuk melemaskan pembuluh darah dan membantu fungsi pompa jantung sehingga dapat mengurangi masalah penyakit jantung. Umbi yacon mengandung sakarida 70-80% berat kering [16], yang terdiri atas fruktosa (350,1 mg/g), glukosa (158,3 mg/g), sukrosa (74,5 mg/g), FOS GF2-GF9 (206,4 mg/g), dan inulin (13,5 mg/g) [17]. Umbi segar mengandung FOS (6-12) g/100 g [18]. Umbi yacon juga mengandung asam fenolat seperti CA, L-triptofan, dan flavonoid sebagai antioksidan, anti-peradangan, antimikroba dan antikanker. Antioksidan utama umbi yacon adalah CA dan L-triptophan (48.5 dan 14.6 µg/g) [19].

Umbi yacon segar menghasilkan kadar FOS, SCFA (Short Chain Fatty Acid) dan bifidobacterium tertinggi [20]. SCFA atau asam propionat menghambat glukoneogenesis laktat dan menstimulasi glikolisis-katabolisme glukosa darah sehingga FOS berperan sebagai anti hiperglikemik. FOS dalam umbi yacon segar efektif menurunkan trigliserida (TG) dan kolesterol [21], dengan cara meningkatkan aktivitas mikroflora usus probiotik untuk menghasilkan SCFA dan aktivitas bile salts hydrolase sehingga menghambat HMG-CoA sintase dan HMG-CoA reduktase. FOS menurunkan ekspresi gen mengkode enzim lipogenik, diperantarai oleh SREBP-1, USF's, sehingga mereduksi lipogenesis de novo di hati [22]. FOS mempromosi pertumbuhan bifidobakteria yang menstimulasi sistem imun pada mukosa kolon [9]. Ekstrak umbi yacon segar efektif menekan pertumbuhan bakteri patogen *S. Typhimurium* [23].

CA berfungsi sebagai antivirus dan bakteri, anti hiperglikemik, dan anti hiperlipidemik. Senyawa ini menghambat aktivitas enzim pembentuk trigliserida dan kolesterol, glukosa-6-fosfatase translokase-1 serta menurunkan gradien natrium yang mengatur transport glukosa dan menstimulasi sekresi insulin [24]. Kadar CA dipengaruhi variasi ketinggian tanam dan usia panen. Kadar tertinggi diperoleh pada umbi yacon yang ditanam di daerah ketinggian 1800 m dpl dan usia panen 8 bulan [25].

Umbi yacon dikonsumsi secara efektif dalam bentuk ekstrak ataupun sirup. Karena tidak meningkatkan gula darah dan meminimalkan penyimpanan lemak, ekstrak ataupun sirup yacon meningkatkan ketahanan tubuh. Namun pengolahan ekstrak ataupun sirup yacon, mempengaruhi kadar FOS dan CA karena aktivitas enzim, suhu, dan pH. Enzim 1-FEH mengatalisis pemecahan FOS, optimum pH 4,5-5,5 dan suhu (25-40) °C. FOS yang direbus terdegradasi pada suhu tinggi dan suasana asam [26]. CA mudah teroksidasi, terpolimerisasi, dan terkondensasi bila kena cahaya, oksigen, dan suhu tinggi. PPO mengatalisir oksidasi CA menjadi o-quinon membentuk pigmen coklat, optimum pH 6.4 dan suhu 30 °C [27].

Ketiga faktor, yaitu: enzim, suhu dan pH, harus dikontrol agar komponen bioaktif FOS dan CA tersedia maksimum dalam ekstrak ataupun sirup yacon. Inaktivasi enzim dapat dilakukan antara lain dengan denaturasi (suhu), chelating agent (asam sitrat), reducing agent (asam askorbat), acidulant (asam sitrat). Penyimpanan dengan menggunakan inhibitor alami seperti NaCl, lemon dan asam sitrat efektif mempertahankan kadar CA dan FOS [28].

Kadar FOS dan CA ekstrak ataupun sirup yacon dapat pula diamankan dengan teknik trapping atau enkapsulasi. Suatu teknik fisik mengemas bahan aktif dalam suatu penyalut untuk mencegah suplai oksigen untuk kontak dengan enzim serta meningkatkan stabilitas terhadap suhu, kelembaban, oksidasi dan cahaya. SP yang dipakai dalam trapping atau enkapsulasi adalah alginat, karagenan, gum arabic, pektin, dan kitosan. Efek sinergistik perlu didapatkan pada variasi bahan penyalut agar efektif terhadap viability probiotik pada penyimpanan dan kondisi gastrointestinal [22]; menghasilkan sifat gel yang baik seperti memberikan fungsi gelasi, meningkatkan tekstur gel dan mencegah sineresis, meningkatkan sifat rheological dari bead gel [23], memperbaiki koefisien difusi efektif bead gel [24], meningkatkan kekuatan gel [29] [30], meningkatkan sifat barrier untuk menurunkan permeabilitas, peningkatan *elongation-at-break* dan kekuatan tarik [26], bersifat stabil, tahan terhadap pH dan tidak terkontaminasi bakteri [27].

Penelitian terhadap ekstrak untuk sirup yacon dapat dibagi dalam 2 (dua) tahun kegiatan. Pada tahun pertama dilakukan pembuatan ekstrak ataupun sirup yacon yang memiliki kadar FOS dan CA optimum yang stabil dan pada tahun kedua dilakukan uji penggunaan sirup yacon untuk menunjang ketahanan tubuh atlet, seperti: gula darah, LDL, tekanan darah, SGPT/SGOT, *R. norvegicus*: bakteri probiotik kolon, *Artemia salina* Leach: toksisitas, bioavailabilitas Ca dan Fe dari atlet.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang maka masalah penelitian pada tahun pertama adalah: “Bagaimana mendapatkan dan mempertahankan komponen bioaktif ekstrak umbi ataupun sirup yacon yang stabil pada penyimpanan, dapat dikonsumsi secara efektif dan efisien?” Adapun rincian masalah pada penelitian yang dilakukan pada tahun pertama dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bagaimana karakter ekstrak umbi ataupun sirup yacon?
2. Bagaimana mempertahankan komponen bioaktif dalam ekstrak umbi ataupun sirup yacon?
3. Bagaimana bioavailabilitas mineral seperti besi atau kalsium ekstrak umbi ataupun sirup yacon?
4. Bagaimana menghasilkan kondisi optimum penyimpanan ekstrak umbi ataupun sirup yacon?

1. 3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan ekstrak umbi ataupun sirup yacon dengan kadar FOS dan asam klorogenat optimum, menentukan variasi komposisi bahan trapping atau enkapsulasi yang memiliki efisiensi penyalutan optimum terhadap FOS dan CA berdasarkan sifat fisika (warna, ukuran dan bentuk) dan sifat kimia (kadar air, FOS dan CA), dan menentukan bioavailabilitasnya terhadap mineral besi atau kalsium.

1. 4. Sasaran Penelitian

Sasaran penelitian pada tahun pertama ini adalah: 1) ekstrak umbi yacon ataupun sirup yacon dan karakterisasinya, seperti: pH, Brix sirup, uji organoleptik, dan daya awet; 2) trapping atau enkapsulasi ekstrak umbi ataupun sirup yacon dan karakterisasinya, seperti: kadar FOS dan CA, morfologi, dan lain-lain.

1. 5. Urgensi Penelitian

Urgensi penelitian adalah didapatkan teknologi produksi dan model produk ekstrak umbi dan sirup yacon yang dapat dikonsumsi secara efektif dan efisien serta produk enkapsulasi stabil terhadap degradasi yang aman dan efektif dari aspek gizi dan kesehatan para atlet.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. State of the Art

Deibert et al. [31] menjelaskan bahwa latihan fisik yang dilakukan oleh atlet membutuhkan sistem imunitas yang kuat. Kekuatan sistem imunitas sejalan dengan asupan prebiotik. Sumber prebiotik (FOS dan inulin) yang baik adalah umbi yacon [32] [9].

Umbi yacon (berat kering) mengandung 70-80% sakarida (terutama FOS) berat kering [16]. Sakarida pada umbi yacon memiliki komposisi fruktosa 350,1, glukosa 158,3, sukrosa 74,5, FOS (GF2-GF9) 206,4, dan inulin 13,5 mg/g berat kering [17]. Manrique et al. [18] menjelaskan bahwa 100 gram umbi yacon segar mengandung FOS 6-12 gram. Disamping FOS dan inulin, juga mengandung asam fenolat, L-triptofan, dan flavonoid, yang mempunyai aktivitas sebagai antioksidan, anti-peradangan, antimikroba dan antikanker. Antioksidan utama umbi yacon adalah asam fenolat klorogenat dan L-triptofan (48.5 dan 14.6 µg/g umbi yacon) [19].

FOS merupakan prebiotik, efektif bagi kesehatan kolon dan pencernaan, meningkatkan bioavailabilitas mineral kolon [5]. FOS tak dapat dicerna oleh enzim saluran pencernaan sehingga mencapai usus besar, di sekum terfermentasi oleh beberapa strain bakteri antara lain *Bifidobacterium* dan *Lactobacillus* yang memproduksi β -fruktofuranosidase/fructanase sehingga cepat dan selektif menstimulasi pertumbuhannya [25], simultan menghasilkan SCFA (short chain fatty acid), asam laktat, secara cepat diabsorpsi mukosa kolon sehingga menurunkan pH intestinal dan menghambat pertumbuhan bakteri patogen. Pada lama penyimpanan hingga 28 hari dan perebusan hingga 60 menit, umbi yacon segar paling efektif menghambat bakteri patogen *S. thypii* - in vitro [23]. Secara in-vivo, peningkatan lama penyimpanan dan perebusan umbi yacon, menurunkan efektivitasnya sebagai prebiotik dan sinbiotik, meningkatkan bakteri probiotik *Bifidobacterium* dan *Lactobacillus* intestinal, menghambat pertumbuhan *S. thypii* [33], menurunkan kadar glukosa, TG dan kolesterol total darah [34] melalui pengikatan asam empedu oleh FOS sehingga mempengaruhi siklus enterohepatik-ekskresi steroid dan asam amino bebas [23].

Peran FOS sebagai anti hiperglikemik, akibat efek fisiologis SCFA pada peningkatan ekspresi proglucagon mRNA, pelepasan hormon GLP-1, stimulasi sekresi insulin dan menurunkan produksi glukosa hepatic, gula darah puasa, dan intoleran glukosa [35]. FOS menurunkan kolesterol darah, akibat peningkatan aktivitas probiotik usus menghasilkan SCFA dan aktivitas bile salts hydrolase sehingga menghambat HMGCoA sintase dan HMG-CoA

reduktase. FOS menurunkan ekspresi gen yang mengkode enzim lipogenik, diperantarai oleh SREBP-1, USF's, sehingga mereduksi lipogenesis *de novo* di hati [22].

Di samping sebagai antioksidan, CA juga berfungsi antivirus dan bakteri, anti hiperglikemik dan hiperlipidemik. CA mampu menghambat glukosa-6-fosfatase translokase-1 dan menurunkan gradien Na yang mengatur transport glukosa serta menstimulasi sekresi insulin [24]. Terhadap metabolisme lipida, menghambat aktivitas enzim pembentuk TG dan kolesterol yaitu fatty acid sintase, 3-hidroksi-3-metilglutaril KoA reduktase, dan asil-KoA kolesterol asiltransferase.

Umbi yacon dapat dirubah dalam bentuk sirup. Karakteristik sirup yacon meliputi tiga parameter, yaitu (1) konsentrasi padatan terlarut sebesar 73 ± 1 oBrix, (2) massa jenis sebesar 1,350 g/ml, dan (3) pH antara 4,2-5,8 (pH harus dijaga tidak boleh kurang dari 4, untuk menghindari terjadinya degradasi FOS) [18].

Salah satu faktor mempengaruhi kadar sakarida, FOS, CA, adalah aktivitas enzim; reaksi enzimatik terkait sintesis dan pemecahan FOS. Aktivitas sukrosa 1-fruktosil transferase (1-SST), fruktan 1-fruktosil transferase (1-FFT) dan fruktan 1-eksohidrolase (1-FEH) di rizom umbi yacon terjadi selama pertumbuhan [36]. Aktivitas tertinggi pada awal pembentukan umbi (3 bulan) dan pembentukan bunga (7 bulan). Enzim 1-SST mengatalisis transfer fruktosil dari sukrosa ke sukrosa lain untuk memproduksi GF2. Enzim 1-FFT mempercepat transfer 1-kestosa ke 1-kestosa yang lain menghasilkan GF3, enzim 1-FEH mengatalisis pemecahan FOS menjadi fruktosa [30]; 1-FEH berkerja optimum pada pH 4.5-5.5, 25-40 °C. Maka menghambat 1- FEH dapat digunakan asam sitrat dan askorbat pada kondisi pH 2-3 dan penyimpanan dalam refrigerator.

Oksidasi CA oleh polifenol oksidase diikuti polimerisasi membentuk o-quinon dan melanoidin, menyebabkan warna coklat; CA adalah substrat klorogenat oksidase. Kondisi optimum klorogenat oksidase pH 4.5 suhu 30 °C. Aktivitas optimum polifenol oksidase pada pH 6.4 suhu 30 °C; efek inhibitor efektif melalui interaksi asam sitrat bersama asam askorbat [27]. Berbagai bahan untuk mencegah efek browning enzimatik; asam askorbat berperan reducing agent dan memindah oksigen pada reaksi pembentukan o-kuinon, asam sitrat sebagai acidulant agent dan chelating enzim, sedangkan NaCl menghambat peroksidase dan klorogenat oksidase. Asam askorbat dan sitrat terdapat pada jeruk lemon (pH $\pm$ 2.2), masing-masing 64% dan 5-6%; makamenghambat aktivitas klorogenat oksidase dapat digunakan NaCl dan air jeruk lemon, demikian pula 1-FEH.

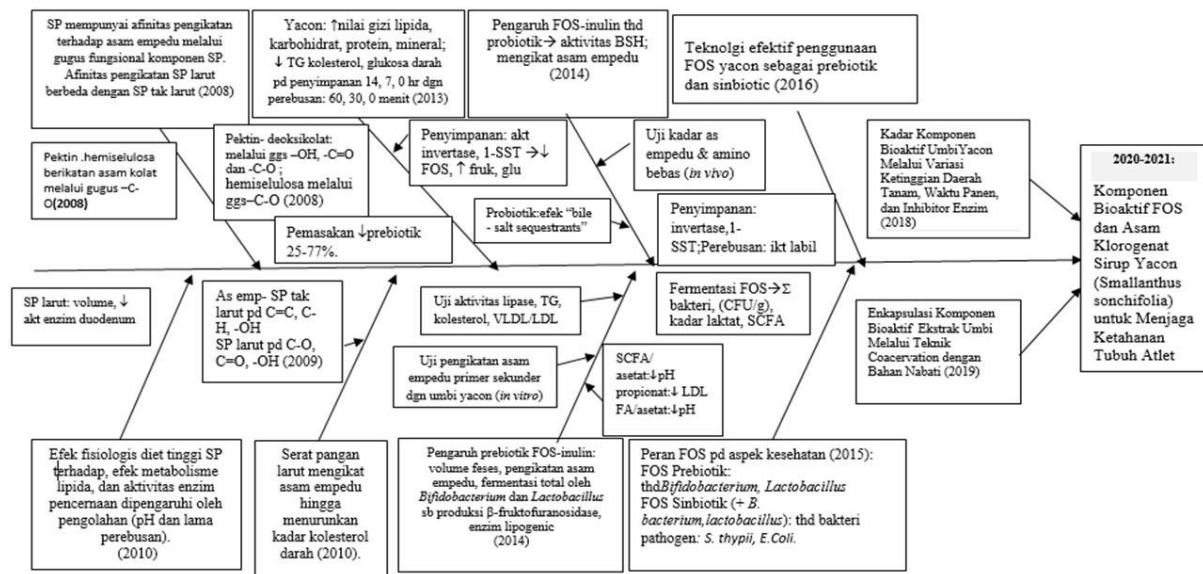
Sebagai pangan fungsional bioaktif FOS dan CA harus diamankan dari perubahan lingkungan yang mengakibatkan penurunan kadarnya. Trapping atau enkapsulasi sebagai

penyalut bahan inti-bioaktif dapat mengurangi kerusakan dari suhu, kelembaban, oksidasi dan cahaya. Trapping atau enkapsulasi merupakan teknologi yang melibatkan beberapa proses untuk melindungi bahan aktif menggunakan penyalut [37]. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi keberhasilannya antara lain adalah sifat fisikokimia zat inti, bahan penyalut, tahap proses penyalutan, sifat struktur dinding penyalut, dan kondisi pembuatan. Tujuannya melindungi senyawa inti dari lingkungan (panas, kelembaban, oksigen, cahaya), memodulasi sifat utuh senyawa (polimer) untuk memudahkan kontrol selama pemrosesan, memberikan penanganan unggul zat aktif seperti mengkonfersikan zat aktif cair menjadi serbuk dan memiliki aroma yang lebih netral, mengimobilisasi agen aktif dalam sistem pengolahan makanan, meningkatkan stabilitas dalam produk akhir dan selama pemrosesan seperti mengurangi penguapan zat aktif yang volatile atau meminimalisir degradasi atau reaksi dengan komponen lain dalam produk makanan seperti oksigen atau air, menurunkan sifat iritasi inti terhadap saluran cerna, membentuk karakteristik yang dapat disesuaikan dari komponen aktif (ukuran partikel, struktur, larut dalam minyak, air, warna). Keuntungan Enkapsulasi adalah dengan adanya lapisan dinding polimer maka zat inti terlindungi dari pengaruh lingkungan luar, mencegah perubahan warna dan bau serta dapat menjaga stabilitas zat inti yang dipertahankan dalam jangka waktu yang lama.

Ada beberapa teknik yang digunakan untuk proses penyalutan seperti spray drying, freeze drying, dan coacervation. Pada teknik coacervation, yang terjadi adalah suatu teknik trapping atau enkapsulasi dengan prinsip pembentukan gelasi ionik [38]. Pada prinsipnya teknik ini merupakan penggabungan atau pengikatsilangan rantai-rantai polimer membentuk jaringan tiga dimensi yang kompak dan kaku [39]. Teknik ini mudah dilakukan karena bahan penyalut yang digunakan mudah didapatkan, tidak mahal dan dapat dilakukan pada suhu ruang, serta menghasilkan efisiensi tinggi [40]. Bahan yang biasa digunakan untuk teknik ini bisa terdiri dari 1 senyawa atau gabungan dari 2 senyawa atau lebih. Pada metode coacervation kompleks, harus menggunakan dua jenis penyalut yang berbeda muatan untuk membentuk fase pemisahan menjadi fase kaya polimer yang melapisi bahan aktif. Umumnya bahan-bahan yang digunakan untuk teknik ini adalah senyawa-senyawa penghasil muatan negatif dan senyawa-senyawa penghasil muatan positif. Kedua jenis senyawa tersebut dapat berikatan ionik satu sama lain karena perbedaan muatan.

Trapping atau enkapsulasi melindungi komponen bahan yang sensitif, mengurangi kehilangan nutrisi, menambah komponen bahan pangan bentuk cair ke bentuk padat yang lebih mudah ditangani. Penggunaan metode ini pada bahan yang memiliki sensitifitas rendah meningkatkan stabilitas dan umur simpan bahan tersebut [41].

2.2. Road Map Penelitian



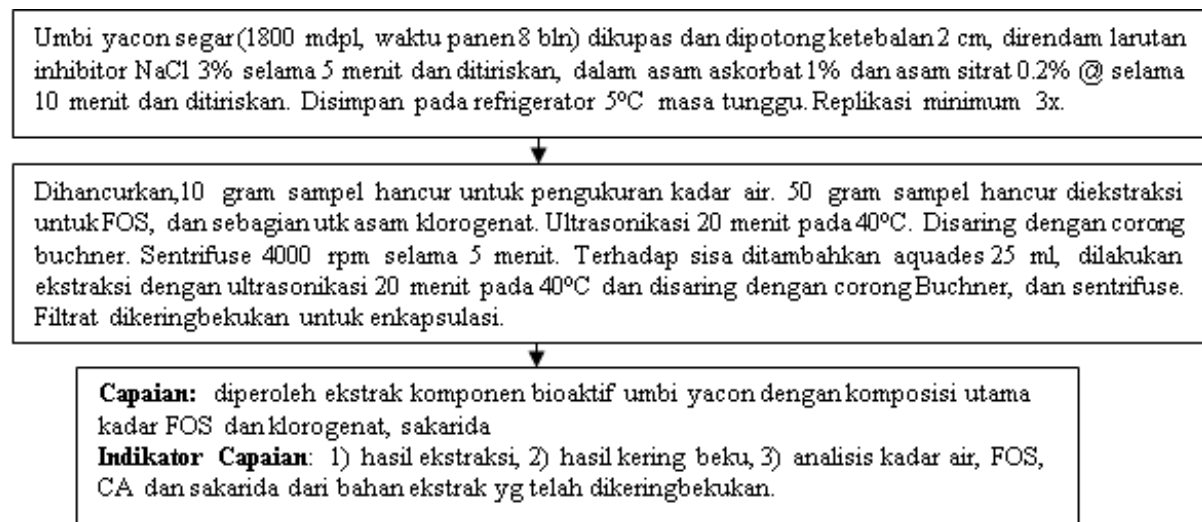
BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Penelitian Tahun I: pembuatan ekstrak dan sirup yacon yang memiliki kadar FOS dan CA optimum yang stabil. Tahapan penelitiannya adalah sebagai berikut:

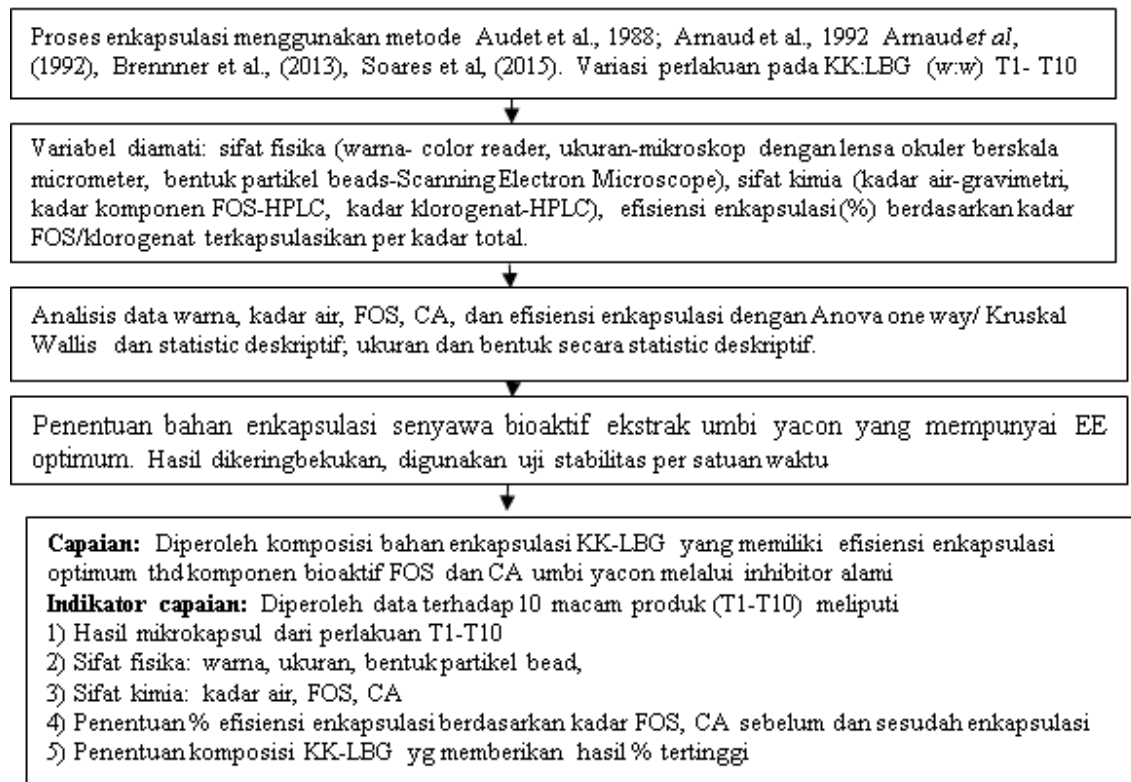
Tahap 1: Ekstraksi dan pengeringbekuan umbi yacon untuk enkapsulasi, melalui rancangan penelitian: One shot case study; hasil diobservasi adalah kadar air, FOS, CA, sakarida.

Bagan alir tahap 1:



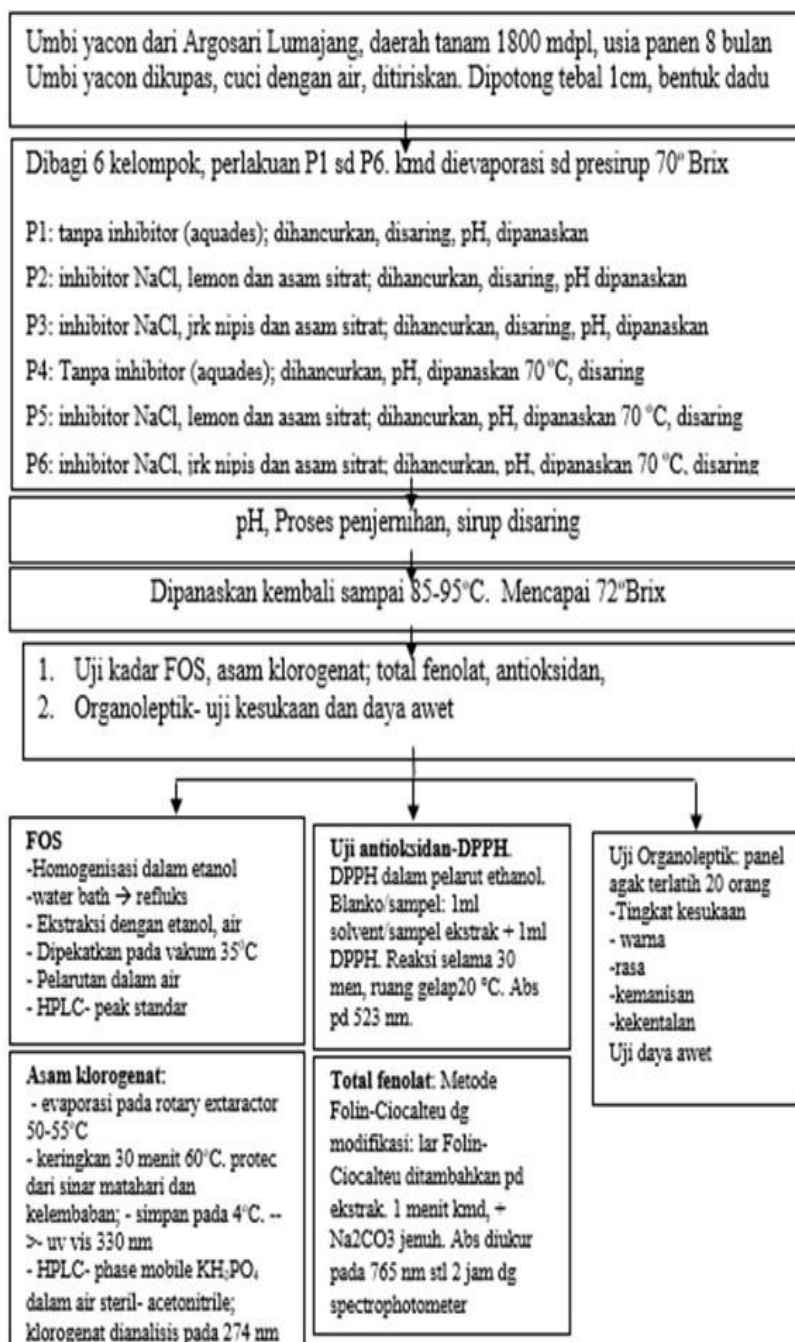
Tahap 2: Penyalutan ekstrak umbi yacon. Rancangan penelitian: Post Test Only Control Group. Konsentrasi campuran gel senyawa I-senyawa II 3% (w/v), perbandingan senyawa I-senyawa II dalam % (w/w): T1 = 10:0; T2 = 9:1; T3 = 8:2; T4 = 7:3; T5 = 6:4; T6 = 5:5; T7 = 4:6; T8 = 3:7; T9 = 2:8; T10 = 1:9; dan T10 = 0:10. Proses penyalutan senyawa I-senyawa II digunakan prosedur [30], [31], [32], [33] dengan modifikasi. Hasil diobservasi sifat fisika (warna, ukuran dan bentuk) dan sifat kimia (kadar air, FOS dan CA) mikrokapsul serta efisiensi enkapsulasi.

Bagan alir tahap 2:



Tahap 3: Penggunaan inhibitor alami bagi 1-FEH dan PPO untuk mendapatkan FOS dan asam klorogenat optimum pada sirup yacon dengan rancangan penelitian: Post Test Only Control Group Design.

Bagan alir tahap 3:



Data yang dihasilkan pada masing-masing tahap penelitian dianalisis dengan Anova satu jalur atau Kruskal Wallis. Sedangkan analisis uji kesukaan dengan uji Friedman ($\alpha= 5\%$).

3.2 Luaran dan target capaian

3.2.1. Target Luaran

No	Jenis Luaran				Indikator Capaian
	Kategori	Sub kategori	Wajib	Tambahan	TS
1	Artikel ilmiah dimuat di jurnal	Internasional bereputasi	V	-	Submitted (Rasayan Journal of Chemistry)
		Nasional Terakreditasi	-	V	<i>Draf</i>
2	Artikel ilmiah dimuat di prosiding	Internasional Terindeks	-	V	Sudah dilaksanakan
		Nasional	-	V	Sudah dilaksanakan
3	<i>Invited speaker</i> dalam temu ilmiah	Internasional	-	-	Tidak ada
		Nasional	-	-	Tidak ada
4	<i>Visiting Lecturer</i>	Internasional	-	-	Tidak ada
5	Hak Kekayaan Intelektual (HKI)	Paten Hak Cipta Merek dagang	-	-	Tidak ada
		Paten sederhana	-	-	Tidak ada
		Hak Cipta	-	-	Tidak ada
		Merek dagang	-	-	Tidak ada
		Rahasia dagang	-	-	Tidak ada
		Desain Produk Industri	-	-	Tidak ada
		Indikasi Geografis	-	-	Tidak ada
		Perlindungan Varietas Tanaman	-	-	Tidak ada
		Perlindungan Topografi Sirkuit Terpadu	-	-	Tidak ada
6	Teknologi Tepat Guna		-	-	Ada
7	Model/Purwarupa/Desain/Karya seni/ Rekayasa Sosial		-	-	Ada
8	Bahan Ajar		-	-	-
9	Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT)		V	-	4

3.2.2. Luaran produk penelitian

Ekstrak yacon, sirup yacon, teknologi produksi dan model produk ekstrak bioaktif FOS dan CA umbi yacon melalui hambatan enzimatis alami dan trapping atau enkapsulasi.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil penelitian

Tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan sampai saat ini telah menghasilkan data-data sebagai berikut.

4.1.1. Ekstrak atau sirup yacon

Ekstrak atau sirup yacon yang dihasilkan merupakan cairan kental berwarna hijau gelap kehitaman. Bila ditambahi dengan inhibitor (NaCl + Asam Askorbat + Benzoate), sirup berubah warna menjadi hijau kuning cerah. Sirup umbi yacon ini memiliki rasa manis dan enak untuk dikonsumsi.



Gambar 4.1. Ekstrak umbi yacon yang tanpa inhibitor (a) dan yang dikasi inhibitor (b)

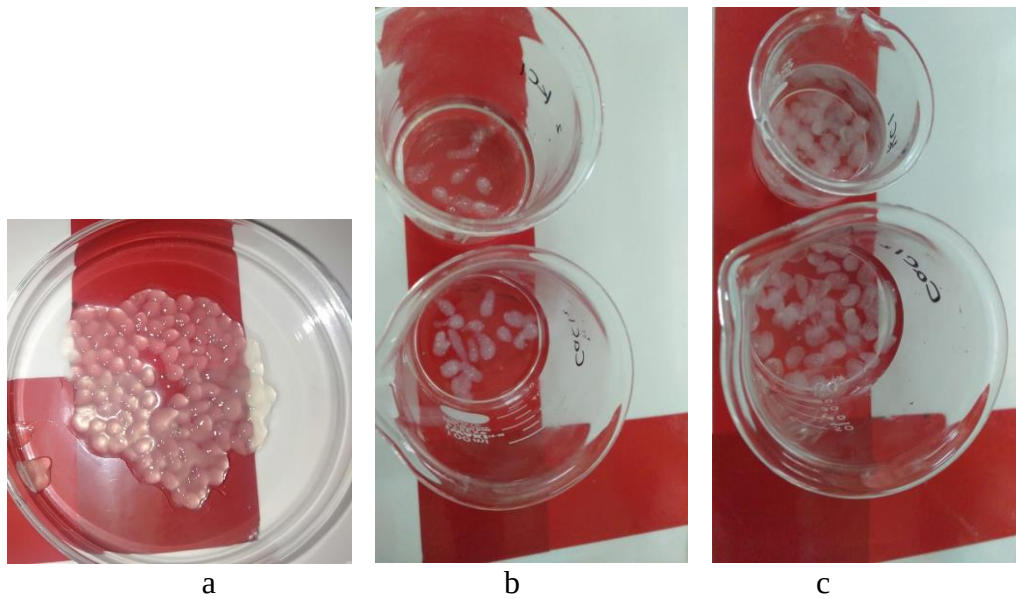
Ekstrak umbi atau sirup yacon dengan inhibitor yang telah dikeringbekukan dengan freeze dryer menghasilkan keadaan seperti digambarkan pada gambar 4.2. Ekstraks berwarna kuning cerah, kental dengan kadar air rata-rata 8.2% (lampiran 1)



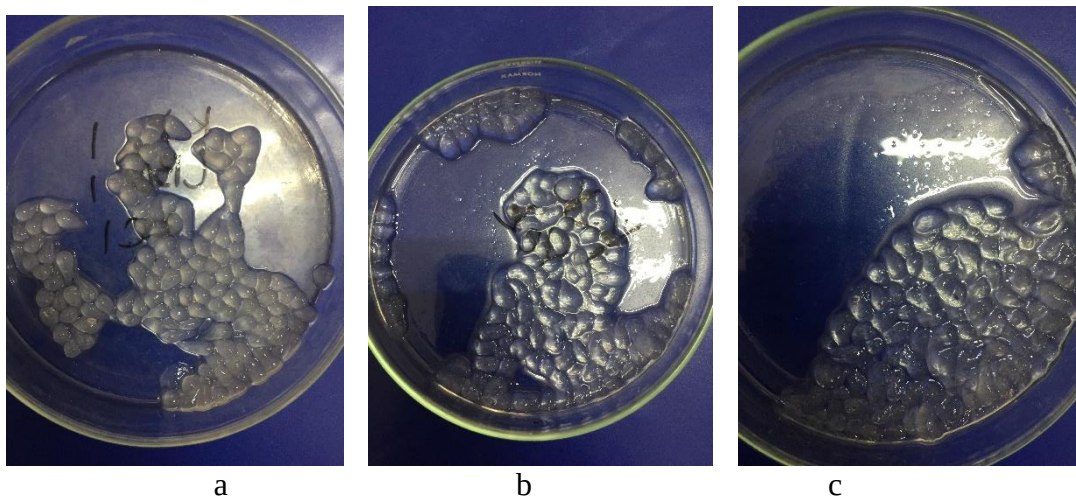
Gambar 4.2. ekstrak umbi yacon

4.1.2. Enkapsulasi ekstrak umbi yacon

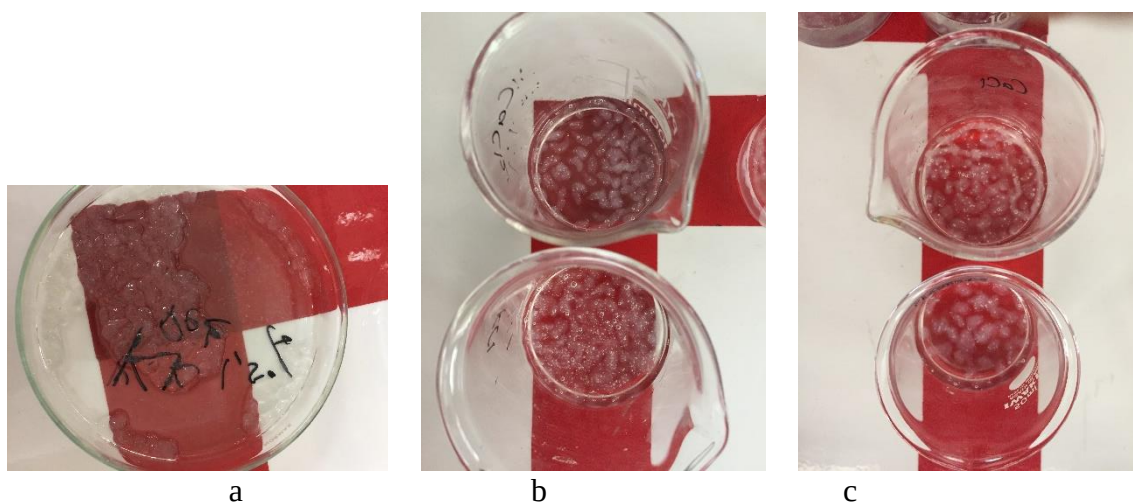
Enkapsulasi yang dilakukan menggunakan kombinasi dari kafa karagenan, locus bean gum, pektin, dan alginate menghasilkan kondisi-kondisi seperti ditunjukkan pada gambar sebagai berikut



Gambar 4.3.a bead kafa karagenan dan alginate, perbandingan: a. 1:1; b. 1:2; c. 2:1



Gambar 4.3.b bead kafa karagenan dan locus bean gum, perbandingan: a. 1:1; b. 1:2; c. 2:1



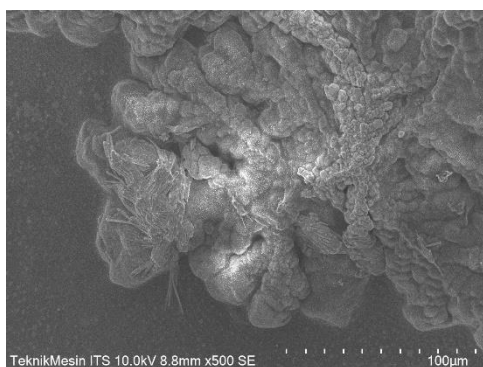
Gambar 4.3.c bead kafa karagenan dan pektin, perbandingan: a. 1:1; b. 1:2; c. 2:1

Proses enkapsulasi terhadap ekstrak umbi yacon atau sirup yacon melalui pengukuran terhadap bead terbaik menghasilkan data seperti ditunjukkan pada tabel sebagai berikut.

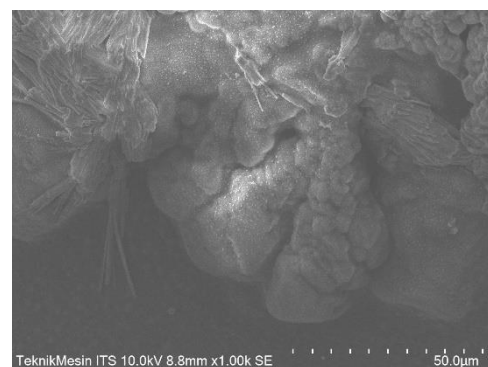
Tabel 4.1. Ukuran Bead Terbaik Pada Proses Enkapsulasi

Komposisi	Ukuran (cm)
KK ALGINAT 1:1	0,350
	0,320
	0,220
	0,390
	0,370
KK LBG 1:1	0,605
	0,625
	0,610
	0,590
	0,550
KK PEKTIN 1:1	0,470
	0,460
	0,435
	0,440
	0,465

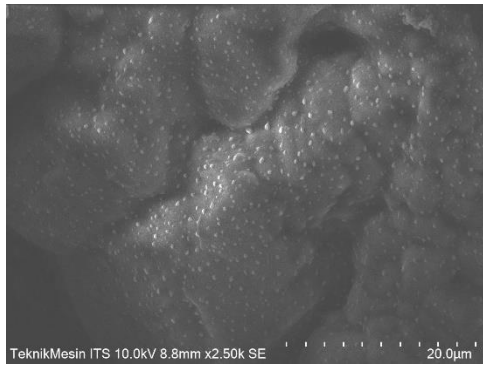
Hasil SEM terhadap bead terbaik pada enkapsulasi ekstrak umbi yacon dapat dilihat pada gambar berikut.



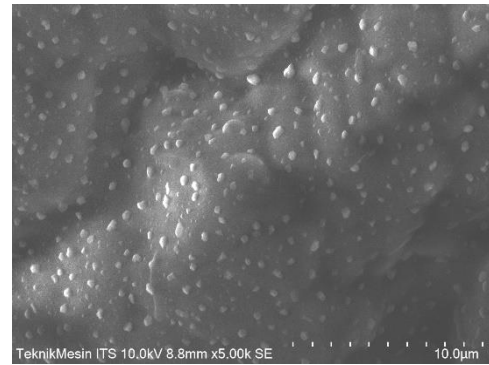
a



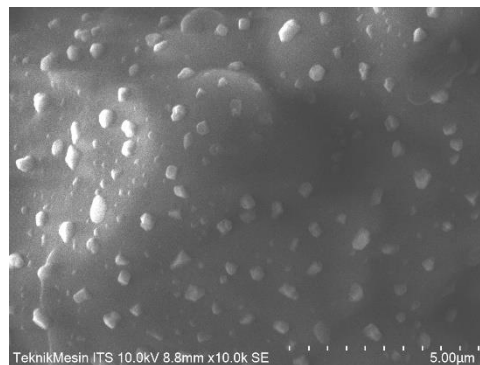
b



c

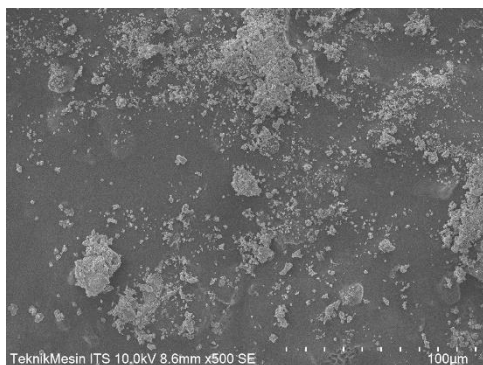


d

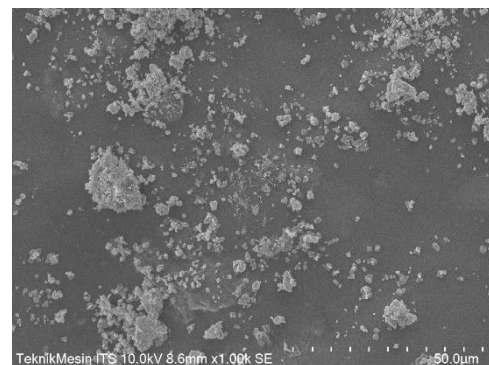


e

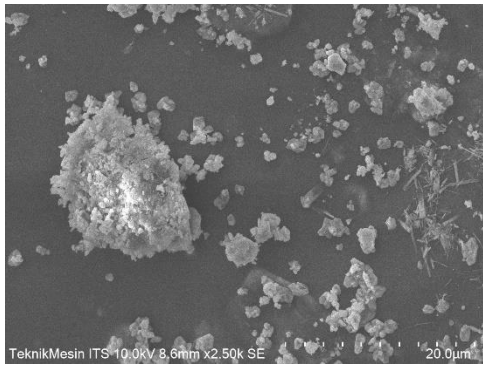
Gambar 4.4.a. Hasil SEM contoh bead dari kafa karagenan-alginat dengan pembesaran: a. 0,5 K; b. 1 K; c. 2,5 K; d. 5 K; e. 10 K



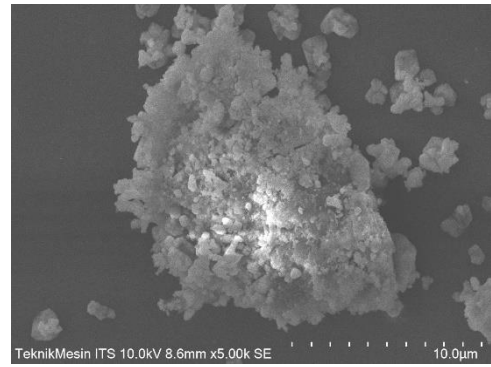
a



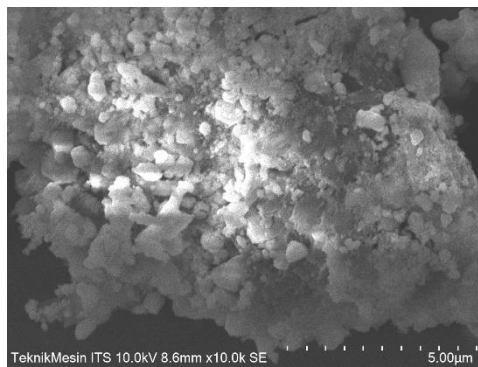
b



c

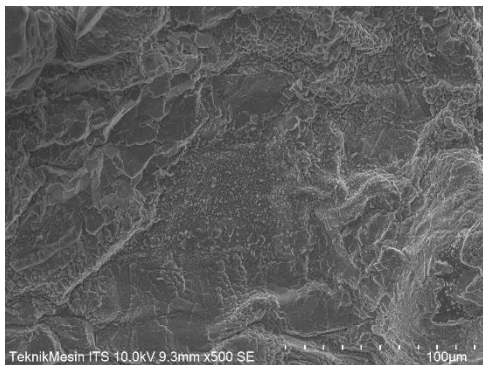


d

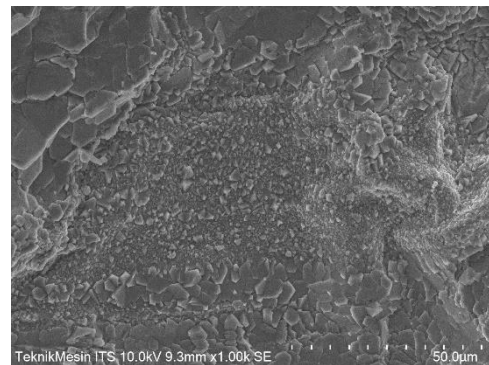


e

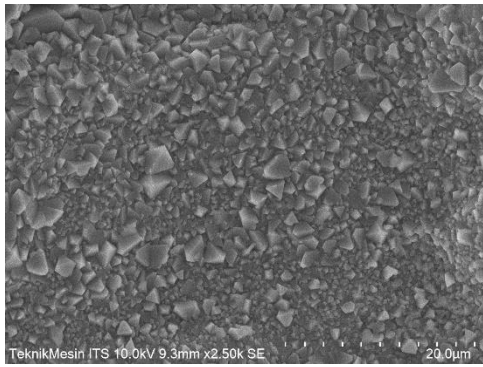
Gambar 4.4.b. Hasil SEM contoh bead dari kafa karagenan-locus bean gum dengan pembesaran: a. 0,5 K; b. 1 K; c. 2,5 K; d. 5 K; e. 10 K



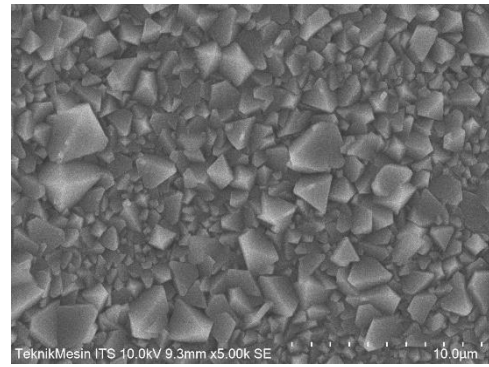
a



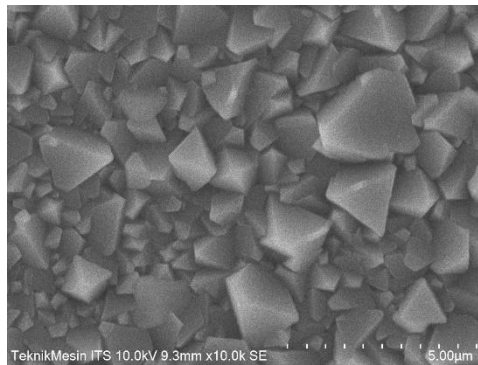
b



c



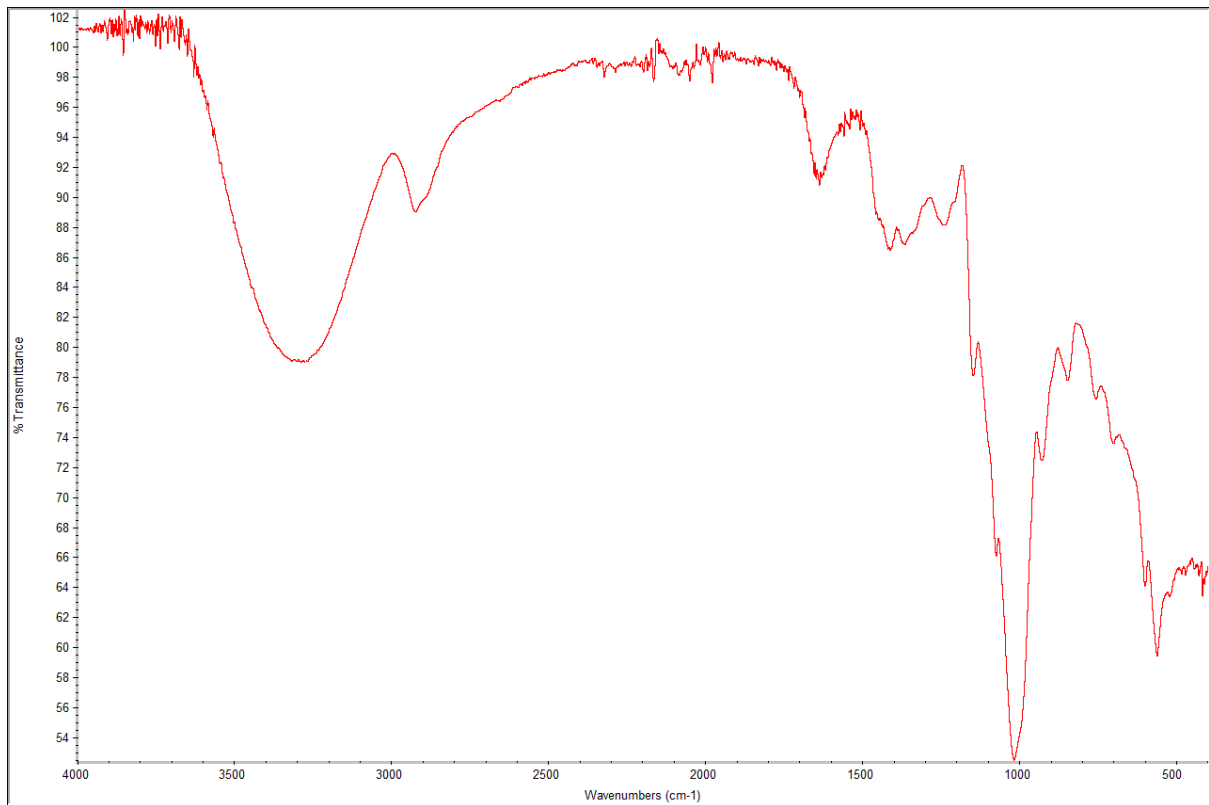
d



e

Gambar 4.4.c. Hasil SEM contoh bead dari kafa karagenan-pektin dengan pembesaran: a. 0,5 K; b. 1 K; c. 2,5 K; d. 5 K; e. 10 K

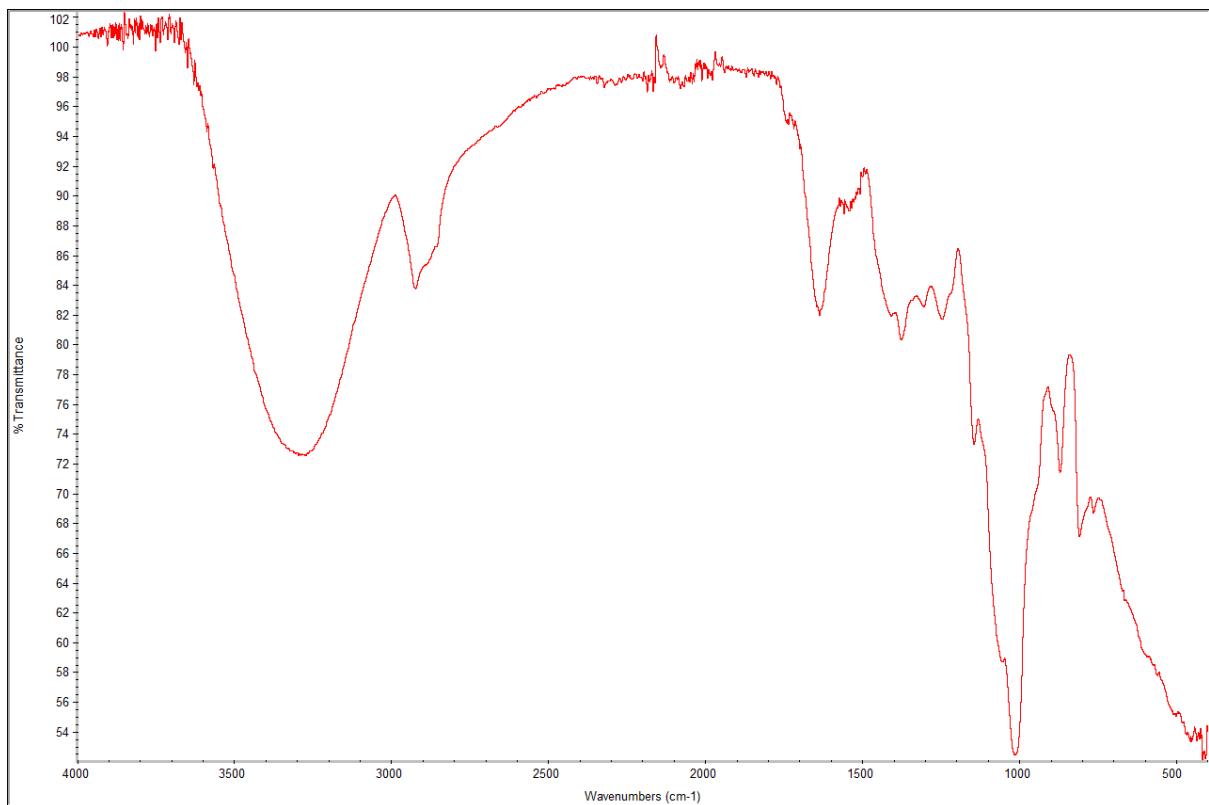
Spektra yang dihasilkan dengan spektrofotometer FTIR terhadap masing-masing bahan enkapsulasi ekstrak umbi yacon dapat dilihat pada gambar berikut.



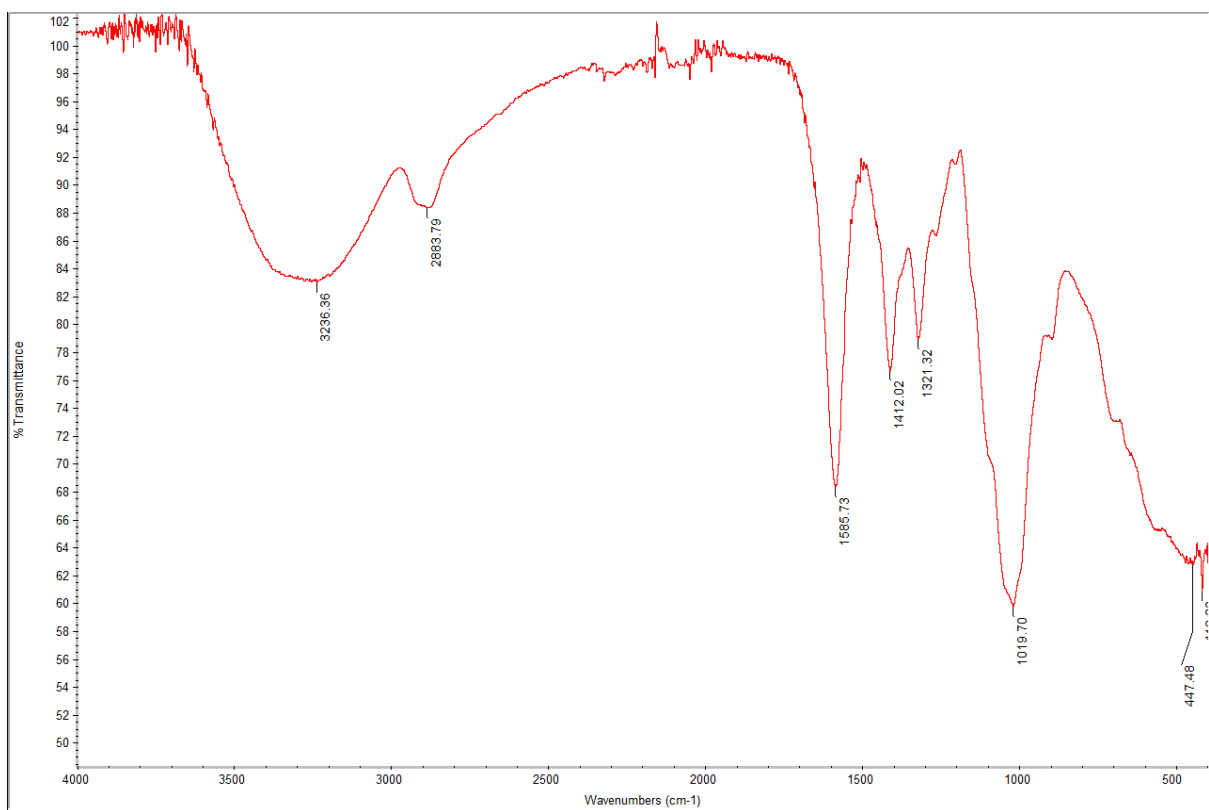
Gambar 4.5.a spektra FTIR dari kafa karagenan



Gambar 4.5.b spektra FTIR dari alginat

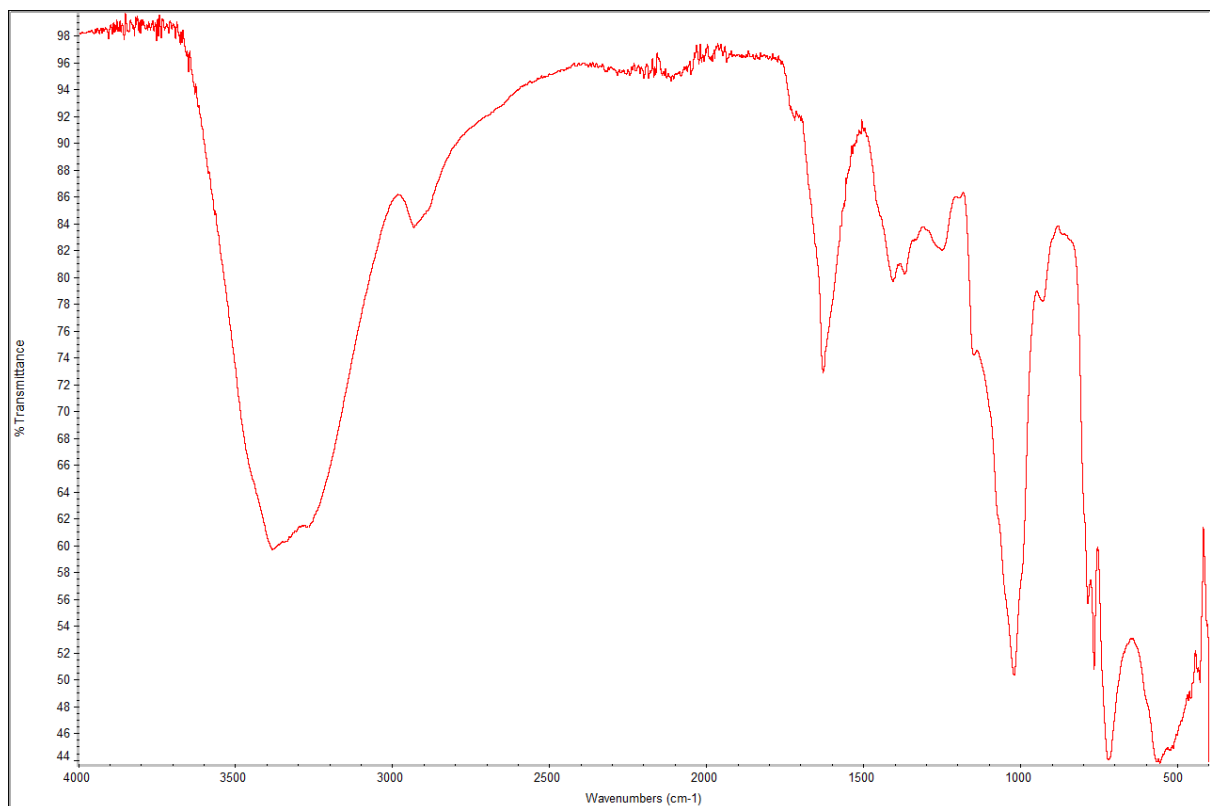


Gambar 4.5.c spektra FTIR dari locus bean gum

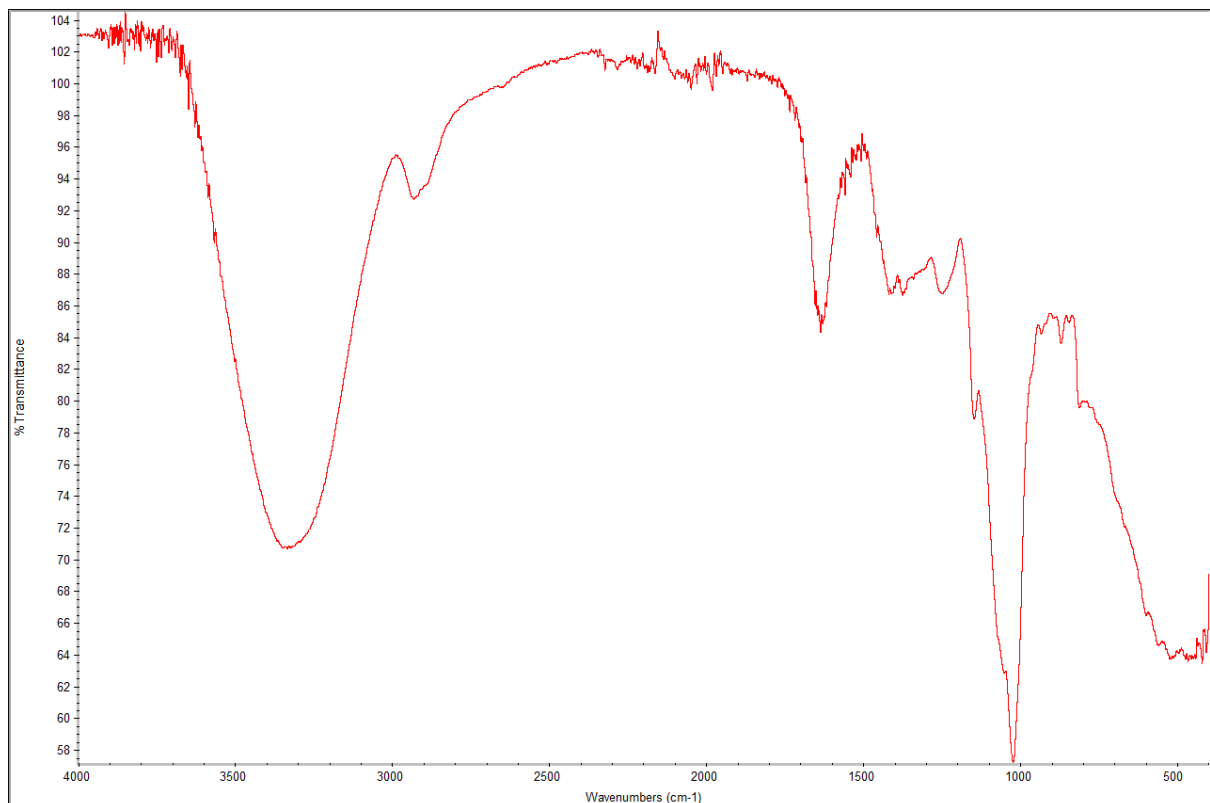


Gambar 4.5.d spektra FTIR dari pektin

Spektra yang dihasilkan dengan spektrofotometer FTIR terhadap bead terbaik pada enkapsulasi ekstrak umbi yacon dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.6.a spektra FTIR dari kafa karagenan-alginat



Gambar 4.6.b spektra FTIR dari kafa karagenan-locus bean gum



Gambar 4.6.c. spektra FTIR dari kafa karagenan-pektin

Efisiensi enkapsulasi terhadap asam klorogenat dari ekstrak umbi yacon dapat dilihat pada tabel 4.2.a. sebagai berikut.

Tabel 4.2.a. efisiensi enkapsulasi terhadap asam klorogenat ekstrak yacon

Komposisi	Konsentrasi (ppm)	Efisiensi (%)
Ekstrak yacon	84.98343476	100
KK ALG 1:2	5.924344407	6.971175919
KK ALG 1:1	37.34888886	43.9484366
KK ALG 2:1	39.58524387	46.5799555
KK LBG 1:2	54.28767819	63.8803096
KK LBG 1:1	67.9177143	79.91877275
KK LBG 2:1	70.42159279	82.86508652
KK PEK 1:2	52.67685139	61.98484974
KK PEK 1:1	70.8416042	83.35931393
KK PEK 2:1	20.84484949	24.52813388

Efisiensi enkapsulasi terhadap FOS dari ekstrak umbi yacon dapat dilihat pada tabel 4.2.b. sebagai berikut.

Tabel 4.2.b. efisiensi enkapsulasi terhadap FOS ekstrak yacon

Kombinasi Bahan	FOS	Konsentrasi FOS bead total (%)	FOS ekstrak (%)	Efisiensi (%)
KK LBG 1:1	fruktosa	3,730298752	8,823830285	42,27527765
	glukosa	5,824449636	11,54835824	50,43530445
	sukrosa	7,553558545	27,33602841	27,63224573
	kestosa	20,58940121	39,37558187	52,28977005
	nistosa	11,9883725	11,80345914	101,5666031
	kestopentaosa	0	7,721184059	0
KK PEKTIN 1:1	fruktosa	5,173916259	8,823830285	58,63571819
	glukosa	10,6700038	11,54835824	92,39411851
	sukrosa	12,9793569	27,33602841	47,48077045
	kestosa	15,52251527	39,37558187	39,42167846
	nistosa	12,70226498	11,80345914	107,6147664
	kestopentaosa	0	7,721184059	0
KK ALGINAT 1:1	fruktosa	6,591023479	8,823830285	74,69571905
	glukosa	8,591955872	11,54835824	74,39980381
	sukrosa	7,278743563	27,33602841	26,62692419
	kestosa	13,37422966	39,37558187	33,96579562
	nistosa	8,59201043	11,80345914	72,79230882
		0	7,721184059	0

Pengamatan terhadap desolusi asam klorogenat pada enkapsulasi ekstrak yacon menghasilkan data sebagai berikut yang diambil dari hasil bead kapsul terbaik.

Tabel 4.3.a. Desolusi asam klorogenat pada enkapsulasi ekstrak yacon

Komposisi	Waktu	Konsentrasi (ppm)	%
KK LBG 1:1	10	9.684097417	11.39527656
	15	24.99159057	29.40760236
	30	29.76580505	35.02542011
	45	30.12835854	35.45203677
	60	39.59211189	46.58803448
KK ALG 1:1	10	27.60921779	32.48776407
	15	12.67632334	14.91622853
	30	12.84010834	15.10895432
	45	23.00353157	27.06825352
	60	14.85520548	17.48011894
KK PEK 1:1	10	15.28283305	17.98330827
	15	17.23170395	20.27654448
	30	22.00315028	25.89110495
	45	23.59844549	27.76828867
	60	25.4578975	29.95630568

Adapun desolusi FOS terhadap pada enkapsulasi ekstrak yacon yang diambil dari hasil bead kapsul terbaik menghasilkan data sebagai berikut.

Tabel 4.3.b. Desolusi FOS pada enkapsulasi ekstrak yacon

Sampel	FOS	Konsentrasi FOS bead total	FOS ekstrak	DISOLUSI (%)
KK LBG 10 Menit	fruktosa	0,690936012	8,823830285	7,83034113
	glukosa	0,282141342	11,54835824	2,44312946
	sukrosa	1,177882383	27,33602841	4,308900933
	kestosa	1,717213804	39,37558187	4,361113467
	nistosa	1,589149977	11,80345914	13,46342592
	kestopentaosa	0	7,721184059	0
KK LBG 15 Menit	fruktosa	0,322592157	8,823830285	3,655919779
	glukosa	0,764807436	11,54835824	6,622650771
	sukrosa	0,986218244	27,33602841	3,6077598
	kestosa	2,242419211	39,37558187	5,694948759
	nistosa	1,06260227	11,80345914	9,002464931
	kestopentaosa	0	7,721184059	0
KK LBG 30 Menit	fruktosa	0,933496919	8,823830285	10,57927101
	glukosa	0,743667335	11,54835824	6,439593575
	sukrosa	0,818048054	27,33602841	2,992563666
	kestosa	2,628473554	39,37558187	6,675389746
	nistosa	1,21993834	11,80345914	10,3354307
	kestopentaosa	0	7,721184059	0
KK LBG 45 Menit	fruktosa	0,688635761	8,823830285	7,804272507
	glukosa	0,754913477	11,54835824	6,53697661
	sukrosa	78673,1461	27,33602841	287800,206
	kestosa	2,34132517	39,37558187	5,946134784
	nistosa	0,938462502	11,80345914	7,950741308
	kestopentaosa	0	7,721184059	0
KK LBG 60 Menit	fruktosa	0,480893918	8,823830285	5,449945234
	glukosa	0,69289139	11,54835824	5,999912501
	sukrosa	0,743936692	27,33602841	2,721451269
	kestosa	1,813176329	39,37558187	4,604824217
	nistosa	0,781265416	11,80345914	6,618953023
	kestopentaosa	1,413840458	7,721184059	18,31118708
KK PEKTIN 10 MENIT	fruktosa	1,390822687	8,823830285	15,76211965

	glukosa	1,651407264	11,54835824	14,29993104
	sukrosa	1,695137698	27,33602841	6,201111854
	kestosa	4,176884789	39,37558187	10,60780461
	nistosa	2,464391805	11,80345914	20,87855582
	kestopentaosa	0	7,721184059	0
KK PEKTIN 15 MENIT	fruktosa	1,29904602	8,823830285	14,72201956
	glukosa	1,710064812	11,54835824	14,8078608
	sukrosa	1,878369782	27,33602841	6,871407044
	kestosa	3,718890811	39,37558187	9,44466249
	nistosa	1,983791729	11,80345914	16,80686742
	kestopentaosa	0	7,721184059	0
KK PEKTIN 30 MENIT	fruktosa	1,361561844	8,823830285	15,43050807
	glukosa	1,588555277	11,54835824	13,75568063
	sukrosa	1,650572275	27,33602841	6,038083696
	kestosa	3,681345565	39,37558187	9,349310894
	nistosa	2,334466645	11,80345914	19,77781782
	kestopentaosa	1,59066363	7,721184059	20,60129144
KK PEKTIN 45 MENIT	fruktosa	1,255011951	8,823830285	14,22298379
	glukosa	1,556793401	11,54835824	13,48064693
	sukrosa	1,796638601	27,33602841	6,572420007
	kestosa	3,725700948	39,37558187	9,461957821
	nistosa	2,52543408	11,80345914	21,39571162
	kestopentaosa	2,64290991	7,721184059	34,22933439
KK PEKTIN 60 MENIT	fruktosa	1,15267363	8,823830285	13,06318903
	glukosa	0,725342812	11,54835824	6,280917139
	sukrosa	1,031353838	27,33602841	3,772873743
	kestosa	2,907309307	39,37558187	7,383533573
	nistosa	1,848173567	11,80345914	15,65789778
	kestopentaosa	0	7,721184059	0
KK ALGINAT10 MENIT	fruktosa	0,655220204	8,823830285	7,425575778
	glukosa	0,771862326	11,54835824	6,683740753
	sukrosa	0,787136473	27,33602841	2,879483666
	kestosa	2,379969366	39,37558187	6,044277325
	nistosa	0,900618458	11,80345914	7,630123062
	kestopentaosa	0	7,721184059	0
KK ALGINAT15 MENIT	fruktosa	0,617824219	8,823830285	7,001769067
	glukosa	0,964673733	11,54835824	8,353340908
	sukrosa	0,826314901	27,33602841	3,022805246

	kestosa	2,034242701	39,37558187	5,166254325
	nistosa	0,881578262	11,80345914	7,468812756
	kestopentaosa	0	7,721184059	0
KK ALGINAT30 MENIT	fruktosa	0,657685162	8,823830285	7,45351101
	glukosa	1,170087776	11,54835824	10,1320703
	sukrosa	0,921635307	27,33602841	3,371504058
	kestosa	2,083116064	39,37558187	5,290375316
	nistosa	1,002335297	11,80345914	8,491877554
	kestopentaosa	1,791645121	7,721184059	23,20427938
KK ALGINAT 45 MENIT	fruktosa	0,562285087	8,823830285	6,372347028
	glukosa	0,964088584	11,54835824	8,34827396
	sukrosa	0,985089719	27,33602841	3,603631458
	kestosa	1,780397448	39,37558187	4,521577495
	nistosa	0,975023249	11,80345914	8,260487344
	kestopentaosa	0	7,721184059	0
KK ALGINAT60 MENIT	fruktosa	0,466508697	8,823830285	5,286918292
	glukosa	0,774384057	11,54835824	6,705577023
	sukrosa	1,041315291	27,33602841	3,809314489
	kestosa	1,369950614	39,37558187	3,47918824
	nistosa	0,895427039	11,80345914	7,586140877
	kestopentaosa	0	7,721184059	0

4.1.3. Bioavailabilitas Mineral

Bioavailabilitas mineral dari ekstrak umbi yacon yang dilakukan secara in-vitro dapat dihasilkan pada tabel berikut.

Tabel 4.4. bioavailabilitas mineral Fe dan Ca secara in-vitro

	Total	H1	H2	H3	H4	H5	K1	K2	K3	K4	K5
Fe (mg/L)	2,511	1.96	1.818	1.882	1.884	1.486	2.012	1.846	2.878	4.91	3.254
Ca (mg/L)	87,7	60.96	59.64	55.642	143.54	102.37	71.298	68.662	85.174	81.76	87.696

Notasi H pada tabel menandai ekstraks hijau kehitaman dari umbi yacon, ekstraks yang tidak ditambahi inhibitor. Notasi K menandai ekstraks kuning yang dihasilkan dari ekstraks yacon yang telah ditambahi inhibitor. Angka 1,2,3,4, dan 5 menandai nomor sampel. Tabel 4.4 ini dihasilkan melalui kombinnasi hasil analisis bioavailabilitas mineral tahap I yang ditunjukkan

hasilnya pada tabel 4.a.a. dan dilanjutkan dengan hasil analisis bioavailabilitas mineral tahap II yang ditunjukkan hasilnya pada tabel 4.b.b.

Tabel 4.4.a. bioavailabilitas mineral Fe dan Ca secara in-vitro bagian 1

	Total	H1	H2	H3	H4	H5	K1	K2	K3	K4	K5
Fe (mg/L)	2,511	0.506	1.028	0.634	0.836	0.724	0.852	1.158	2.55	4.478	2.456
Ca (mg/L)	87,7	39.12	44.84	36.41	127.7	93.68	55.66	50.21	71.14	65.9	68.55

Tabel 4.3.b. bioavailabilitas mineral Fe dan Ca secara in-vitro bagian 2

	H1	H2	H3	H4	H5	K1	K2	K3	K4	K5
Fe	1.454	0.79	1.248	1.048	0.762	1.16	0.688	0.328	0.432	0.798
Ca	21.84	14.8	19.232	15.84	8.69	15.638	18.452	14.034	15.86	19.146

Bioavailabilitas mineral dari ekstrak umbi yacon yang dilakukan secara in-vivo dapat dilihat pada tabel 4.4a-b berikut.

Tabel 4.4.a bioavailabilitas mineral Fe secara in-vivo

Nama Sampel	Konsentrasi Fe pada pakan per tikus (ppm)	Bioavailabilitas FE (ppm)	Persen Bioavailabilitas Fe (%)
P1 Hari 1	6.934878	6.425088124	92.64889915
	6.934878	6.421506462	92.59725207
	6.934878	6.421984017	92.60413835
P1 Hari 3	6.140808	5.578009528	90.83510717
	6.140808	5.578009528	90.83510717
	6.140808	5.576576863	90.81177694
P1 Hari 5	6.94796545	6.365348449	91.61456681
	6.94796545	6.362244342	91.56989032
	6.94796545	6.362005565	91.56645367
P1 Hari 7	6.77053492	6.252387833	92.34702881
	6.77053492	6.246895952	92.26591437
	6.77053492	6.247851061	92.28002123
P1 Hari 9	6.6607768	6.195160754	93.00958342
	6.6607768	6.194205644	92.9952441
	6.6607768	6.194205644	92.9952441
P2 Hari 1	7.170158	6.159890569	85.91010922
	7.170158	6.160845679	85.92342985
	7.170158	6.165382451	85.98670281
P2 Hari 3	7.1657465	5.42887926	75.76153106
	7.1657465	5.433893587	75.83150739
	7.1657465	5.437475249	75.88149049
P2 Hari 5	6.7869457	5.009963847	73.81765036

	6.7869457	5.017843503	73.93375054
	6.7869457	5.00876996	73.80005943
P2 Hari 7	6.5469601	4.984639183	76.13669714
	6.5469601	4.975088085	75.99081114
	6.5469601	4.965775764	75.84857228
P2 Hari 9	6.48981647	4.709252955	72.56373084
	6.48981647	4.698269192	72.39448471
	6.48981647	4.706865181	72.5269382
K- Hari 1	6.923604167	6.181006268	89.27440274
	6.923604167	6.189602256	89.39855756
	6.923604167	6.188169592	89.37786509
K- Hari 3	7.393502442	6.318526319	85.46052929
	7.393502442	6.316377322	85.43146326
	7.393502442	6.316377322	85.43146326
K- Hari 5	7.273803742	6.779534401	93.20480235
	7.273803742	6.783593618	93.26060832
	7.273803742	6.787175279	93.30984888
K- Hari 7	7.094623317	6.433687309	90.68398732
	7.094623317	6.432254644	90.66379365
	7.094623317	6.429628092	90.62677193
K- Hari 9	6.859808975	6.429531993	93.72756613
	6.859808975	6.431203435	93.75193185
	6.859808975	6.178576883	90.0692265
K+ Hari 1	7.329217083	6.648462547	90.71177004
	7.329217083	6.651805431	90.75738043
	7.329217083	6.617660254	90.29150289
K+ Hari 3	7.213488733	6.504080901	90.16553767
	7.213488733	6.502887014	90.14898691
	7.213488733	6.149973929	85.25658189
K+ Hari 5	7.093275358	6.103781567	86.05025546
	7.093275358	6.103781567	86.05025546
	7.093275358	6.127659312	86.38688057
K+ Hari 7	6.93502505	6.068024095	87.49822893
	6.93502505	6.071605757	87.54987492
	6.93502505	6.071128202	87.54298879
K+ Hari 9	7.027764583	6.269884927	89.2159214
	7.027764583	6.272750257	89.25669297
	7.027764583	6.27060126	89.2261143

Tabel 4.4.b. bioavailabilitas mineral Ca secara in-vivo

Nama Sampel	Konsentrasi Ca pada pakan per tikus (ppm)	Bioavailabilitas Ca (ppm)	Persen Bioavailabilitas (%)
P1 hari 1	227.1280879	202.4138022	89.11878934
P1 hari 1	227.1280879	201.4577582	88.69786212
P1 hari 1	227.1280879	200.6152674	88.32693008
P1 hari 3	201.1210549	174.7254505	86.87576276

P1 hari 3	201.1210549	174.9928498	87.00871715
P1 hari 3	201.1210549	175.9928498	87.50593013
P1 hari 5	227.5567223	203.238041	89.3131343
P1 hari 5	227.5567223	203.168444	89.2825498
P1 hari 5	227.5567223	202.9303487	89.17791864
P1 hari 7	221.7455953	188.3060349	84.91985359
P1 hari 7	221.7455953	188.3133609	84.92315738
P1 hari 7	221.7455953	188.3170239	84.92480927
P1 hari 9	218.1508454	180.6709919	82.81929487
P1 hari 9	218.1508454	180.700296	82.8327278
P1 hari 9	218.1508454	180.711285	82.83776514
P2 hari 1	234.8338755	200.6653773	85.44992791
P2 hari 1	234.8338755	202.1122637	86.06605982
P2 hari 1	234.8338755	202.7679414	86.34526897
P2 hari 3	234.6893919	209.4696117	89.25397522
P2 hari 3	234.6893919	210.4549597	89.67382717
P2 hari 3	234.6893919	211.795619	90.24507554
P2 hari 5	222.283074	203.8508396	91.70776519
P2 hari 5	222.283074	204.2904	91.90551324
P2 hari 5	222.283074	204.8838066	92.17247311
P2 hari 7	214.4231707	191.8883722	89.49050214
P2 hari 7	214.4231707	193.0715223	90.04228494
P2 hari 7	214.4231707	194.0861744	90.51548568
P2 hari 9	212.5516275	187.7457667	88.32948913
P2 hari 9	212.5516275	189.1560232	88.992978
P2 hari 9	212.5516275	190.4930195	89.62199993
k-1 hari 1	226.7588523	207.1691087	91.36097956
k-1 hari 1	226.7588523	208.2533578	91.83913028
k-1 hari 1	226.7588523	209.2680098	92.2865889
k-1 hari 3	242.1487548	223.0022347	92.09307512
k-1 hari 3	242.1487548	224.2073629	92.59075606
k-1 hari 3	242.1487548	225.2439929	93.01885243
k-1 hari 5	238.2284354	209.5837468	87.97595736
k-1 hari 5	238.2284354	209.6533438	88.00517179
k-1 hari 5	238.2284354	209.7522449	88.04668703
k-1 hari 7	232.3599966	207.6676889	89.37325355
k-1 hari 7	232.3599966	207.5504728	89.32280764
k-1 hari 7	232.3599966	207.5724508	89.33226625
k-1 hari 9	224.6694601	205.5156139	91.47465519
k-1 hari 9	224.6694601	206.3727568	91.85616804
k-1 hari 9	224.6694601	207.1346615	92.19529057
k+1 hari 1	240.0433089	212.5561294	88.54907491
k+1 hari 1	240.0433089	213.087265	88.77034145
k+1 hari 1	240.0433089	215.8894628	89.93771321
k+1 hari 3	236.2530247	194.568043	82.3557892
k+1 hari 3	236.2530247	194.6669441	82.39765157

k+1 hari 3	236.2530247	195.0002774	82.53874323
k+1 hari 5	232.3158488	197.8359954	85.15820007
k+1 hari 5	232.3158488	198.3268379	85.36948247
k+1 hari 5	232.3158488	197.6748232	85.08882377
k+1 hari 7	227.132904	200.5504864	88.29653603
k+1 hari 7	227.132904	201.118252	88.54650667
k+1 hari 7	227.132904	202.114589	88.98516482
k+1 hari 9	230.1702686	182.1519536	79.1379159
k+1 hari 9	230.1702686	184.9688034	80.36172722
k+1 hari 9	230.1702686	185.9871184	80.80414536

Pada tabel ini, P1 menandai penambahan FOS tanpa inhibitor 3 ml perhari; P2 penambahan FOS dengan inhibitor NaCl+ asam askorbat+benzoat 3ml/ hari; K-1 penambahan aquades 4 ml per hari; dan K+ penambahan FOS komersial 4 ml per hari.

4.2. Pembahasan

Bead terbaik pada enkapsulasi ekstrak umbi yacon diperoleh pada masing-masing kombinasi kaffa karagenan-alginat adalah 1:1. Demikian pula untuk masing-masing kombinasi kaffa karagenan-locus bean gum dan kombinasi kaffa karagenan-pektin. Dari semua kombinasi, bead terbaik diperoleh dari kombinasi kaffa karagenan-locus bean gum 1:1. Adapun ukuran dari masing-masing bead terbaik yang tampak pada tabel 4.1 menunjukkan bahwa ukuran rata-rata bead terbesar dimiliki oleh kombinasi bahan kaffa karagenan-locus bean gum 1:1. Ukuran rata-rata bead terkecil dari kombinasi kaffa karagenan-alginat.

Enkapsulasi dimaksudkan adalah untuk memerangkap bahan-bahan aktif dari yacon. Analisis yang dilakukan dengan SEM menunjukkan keberadaan senyawa-senyawa bioaktif yang terperangkap dalam kapsul, seperti ditunjukkan pada gambar 4.4.a-c.

Hasil analisis FTIR terhadap senyawa murni dari masing-masing bahan pembentuk enkapsulasi dan perbandingannya dengan hasil analisis terhadap kombinasi senyawa dalam enkapsulasi menunjukkan adanya beberapa perubahan puncak serapan. Perbandingan hasil analisis FTIR antara kaffa karagenan, alginat, dan kombinasi kaffa karagenan-alginat menghasilkan perubahan puncak serapan seperti ditunjukkan melalui tabel 4.5.

Tabel 4.5 perubahan puncak serapan FTIR pada kombinasi kaffa karagenan-alginat

Puncak-Puncak Serapan (cm ⁻¹)		
Kaffa Karagenan	Alginat	Kaffa Karagenan-Alginat
417.42	409.38	428.95
	444.75	
561.17		556.56
		721.86

		766.01
847.34		
928.10		
1018.59	1019.67	1020.57
1147.37		
1242.19	1244.03	
1412.16	1405.67	1405.77
1636.90	1600.08	1628.82
	1718.33	
	2892.17	
2925.47		2932.60
3288.37	3275.21	
		3382.36

Kombinasi kaffa karagenan-locus bean gum menghasilkan perubahan puncak serapan seperti ditunjukkan melalui tabel 4.6.

Tabel 4.6 perubahan puncak serapan FTIR pada kombinasi kaffa karagenan-locus bean gum

Puncak-Puncak Serapan (cm ⁻¹)		
Kaffa Karagenan	Locus bean gum	Kaffa Karagenan-locus bean gum
417.42	4.17.16	421.48
561.17		
847.34	809.53	
	870.97	871.30
928.10		
1018.59	1015.63	1023.62
1147.37		1147.59
1242.19	1247.07	1251.10
	1375.18	1375..12
1412.16		
1636.90	1636.53	1636.75
2925.47	2923.31	2932.02
3288.37	3296.87	
		3335.22

Kombinasi kaffa karagenan-pektin menghasilkan perubahan puncak serapan seperti ditunjukkan melalui tabel 4.7.

Tabel 4.7 perubahan puncak serapan FTIR pada kombinasi kaffa karagenan-pektin

Puncak-Puncak Serapan (cm ⁻¹)		
Kaffa Karagenan	pektin	Kaffa Karagenan-pektin
417.42	418.33	
	447.48	
		506.08
561.17		
		721.19
847.34		
928.10		
1018.59	1019.70	1018.23
1147.37		
1242.19		
	1321.32	1323.06
1412.16	1412.02	1412.17
	1585.73	1589.67
1636.90		

	2883.79	
2925.47		
3288.37	3236.36	
		3383.48

Perubahan puncak-puncak serapan pada kombinasi bahan untuk menghasilkan masing-masing bead berhubungan dengan adanya perubahan gugus fungsi dan perubahan struktur ikatan yang menandai adanya reaksi antara masing-masing bahan yang berkombinasi.

Efisiensi tertinggi terhadap asam klorogenat pada enkapsulasi ekstrak umbi yacon dihasilkan pada bead dari kombinasi bahan Kaffa Karagenan-pektin 1:1, yaitu 83.36% diikuti kombinasi Kaffa Karagenan-Locus Bean Gum 2:1 yang menghasilkan efisiensi enkapsulasi 82.87%. Kombinasi Kaffa Karagenan-Alginat 1:2 menghasilkan efisiensi enkapsulasi terendah, yaitu 6.97%.

Berdasarkan hasil pada tabel 4.2.b. diketahui bahwa efisiensi enkapsulasi terhadap FOS paling besar diperoleh pada kombinasi kaffa karagenan-locus bean gum 1:1, yaitu sebesar 63.65%. Efisiensi kedua terbesar dihasilkan dari kombinasi kaffa karagenan-pektin 1:1 sebesar 55,14%. Efisiensi terkecil diperoleh kaffa karagenan-alginat 1:1 sebesar 42,92%

Enkapsulasi ekstrak yacon pada kombinasi Kaffa Karagenan-Locus Bean Gum, Kaffa Karagenan-Alginat, dan Kaffa Karagenan-Pektin menunjukkan desolusi terhadap asam klorogenat yang cenderung meningkat terhadap waktu. Rata-rata desolusi terbesar dihasilkan pada kombinasi Kaffa Karagenan_Locus Bean Gum. Rata-rata desolusi terkecil dihasilkan pada kombinasi Kaffa Karagenan-Alginat. Adapun rata-rata desolusi FOS terbesar diperoleh pada kombinasi Kaffa Karagenan-Pektin. Sedangkan rata-rata desolusi FOS terkecil diperoleh pada kombinasi Kaffa Karagenan-Alginat.

Persentase bioavailabilitas mineral Fe dan Ca dari ekstrak umbi yacon yang dilakukan secara in-vitro menghasilkan tabel seperti berikut.

Tabel 4.3. bioavailabilitas mineral Fe dan Ca secara in-vitro

	Total	H1	H2	H3	H4	H5	K1	K2	K3	K4	K5
Fe (%)	100	78.06	72.40	74.95	75.033	59.18	80.12	73.52	114.62	195.54	129.59
Ca (%)	100	69.51	68.00	63.45	163.67	116.73	81.30	78.29	97.12	93.23	99.99

Rata-rata nilai bioavailabilitas mineral Fe pada ekstrak umbi yacon yang berwarna hijau kehitaman adalah 71,92% sedangkan pada ekstrak kuning adalah 99.46%. Rata-rata nilai bioavailabilitas mineral Ca pada ekstrak umbi yacon yang berwarna hijau kehitaman adalah 96,27%, sedangkan pada ekstrak kuning adalah 99.99%. Bioavailabilitas mineral dari ekstrak

umbi yacon kuning terhadap mineral Fe dan Ca secara in-vitro lebih baik dibandingkan bioavailabilitas ekstraks umbi yacon yang berwarna hijau kehitaman. Hasil ini sejalan dengan hasil bioavailabilitas mineral Fe dan Ca yang dianalisis secara in-vivo, seperti ditunjukkan pada tabel 4.4 di atas.

Tingginya nilai bioavailabilitas Fe dan Ca ini sangat penting bagi kesehatan para atlet. Bioavailabilitas Fe yang tinggi mencegah terjadinya anemia karena kekurangan butir-butir darah merah. Bioavailabilitas Ca sangat penting untuk kesehatan jantung para atlet di samping menjaga kesehatan tulang dan gigi.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Ekstrak umbi yacon atau sirup yacon memiliki warna hijau gelap kehitaman. Sirup tersebut menjadi berwarna hijau kuning cerah bila ditambahkan inhibitor. Sirup yacon dengan inhibitor yang dikeringbekukan menjadi cairan kental dengan kadar air 8,2% memiliki rasa manis dan enak untuk dikonsumsi.

Kandungan FOS dan asam klorogenat dalam sirup dapat dipertahankan dengan cara enkapsulasi. Kombinasi kaffa karagenan-locus bean gum dengan perbandingan 1:1 menghasilkan bead enkapsulasi terbaik. Kepastian enkapsulasi dihasilkan dari analisis dengan SEM dan FTIR. Pada proses enkapsulasi terjadi perubahan gugus fungsi dan ikatan kimia yang dapat ditelusuri dengan menggunakan analisis FTIR terhadap bahan murni dan bahan yang telah berkombinasi.

Efisiensi tertinggi enkapsulasi terhadap asam klorogenat diperoleh dari kombinasi bahan Kaffa Karagenan-Pektin 1:1 sebesar 83.36%. Efisiensi enkapsulasi terhadap FOS terbesar diperoleh pada kombinasi Kaffa Karagenan-Locus Bean Gum 1:1 dengan nilai 63,65%. Desolusi rata-rata terendah untuk asam klorogenat dan FOS dihasilkan pada kombinasi Kaffa Karagenan-Alginat Nilai bioavailabilitas mineral Fe dan Ca dari ekstrak kuning lebih baik dibandingkan dengan ekstrak hijau kehitaman baik secara in-vitro maupun secara in-vivo.

5.2. Saran

Pada penelitian ini belum dapat dikaji aktivitas ekstrak umbi yacon pada konsentrasi asam laktat darah karena jumlah sirup yang dihasilkan tidak memadai akibat stok bahan tidak sesuai musim panen. Untuk itu disarankan melakukan penelitian lanjut menggunakan hewan coba untuk mengkaji pengaruh konsumsi sirup yacon pada penurunan kadar laktat darah yang dapat digunakan untuk memperlambat pencapaian kelelahan ataupun mempercepat hilangnya kelelahan atlet.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. R. Bytowski, "Fueling for Performance," *Sports Health*, vol. 10, no. 1, pp. 47-53, 2018.
- [2] A. Melin, A. B. Tornberg, S. Skouby and A. Sjödén, "Low-energy density and high fiber intake are dietary concerns in female endurance athletes," *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, vol. 26, no. 9, pp. 1-12, 2015.
- [3] V. L. A. Patil, A. Phatak and N. Chandra, "Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health," *Pharmacognosy Reviews*, vol. 4, no. 8, pp. 118-126, 2010.
- [4] W. V. d. Ende, D. Peshev and L. D. Gara, "Disease prevention by natural antioxidants and prebiotics acting as ROS scavengers in the gastrointestinal tract," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 22, no. 12, pp. 689-697, 2011.
- [5] A. Perry, "Common Plant Compound Improves Iron Absorption," *Agricultural Research Magazine*, 2 January 2008.
- [6] N. Abbaspour, R. Hurrell and R. Kelishadi, "Review on iron and its importance for human health," *J Res Med Sci.*, vol. 19, no. 2, p. 164–174, Feb 2014.
- [7] K. Maresz, "Proper Calcium Use: Vitamin K2 as a Promoter of Bone and Cardiovascular Health," *Integr Med (Encinitas)*, vol. 14, no. 1, p. 34–39, Feb 2015.
- [8] C. Higgins, "Lactate and lactic acidosis," *acute-care-testing.org*, Gloucester, 2007.
- [9] B. F. R. Caetano, N. A. D. Moura, A. P. S. Almeida, M. C. Dias, K. Sivieri and L. F. Barbisan, "Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) as a Food Supplement: Health-Promoting Benefits of Fructooligosaccharides," *Nutrients*, vol. 8, no. 7, p. 436, 2016.
- [10] C. Borromei, M. Careri, A. Cavazza, C. Corradini, L. Elviri, A. Mangia and C. Merusi, "Evaluation of Fructooligosaccharides and Inulins as Potentially Health Benefiting Food Ingredients by HPAEC-PED and MALDI-TOF MS," *International Journal of Analytical Chemistry*, vol. 2009, pp. 1-9, 2009.
- [11] J. M. Tunnicliffe, T. Cowan and J. Srearer, "Chapter 86 - Chlorogenic Acid in Whole Body and Tissue-Specific Glucose Regulation," in *Coffee in Health and Disease Prevention*, Academic Press, 2015, pp. 777-785.
- [12] P. Proia, C. M. D. Liegro, G. Schiera, A. Fricano and I. D. Liegro, "Review Lactate as a Metabolite and a Regulator in the Central Nervous System," *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 17, p. 1450, 2016.
- [13] A. M. Machado, N. B. d. Silva, J. B. P. Chaves and R. d. C. G. Alfenas, "Consumption of yacon flour improves body composition and intestinal function in overweight adults: A randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial," *Clinical Nutrition Espana*, vol. 29, pp. 22-29, 2019.
- [14] M. R. Yan, R. Welch, E. C. Rush, X. Xiang and X. Wang, "Review A Sustainable Wholesome Foodstuff; Health Effects and Potential Dietotherapy Applications of Yacon," *Nutrients*, no. 11, p. 2632, 2019.
- [15] S. G. EBERLE, *Endurance Sports Nutrition-3rd Edition*, USA: Human Kinetics, 2014.
- [16] I. Veihmannova, M. Luigi, C. F. Eloy and J. Lachman, "Chemical Composition of Tuberous Roots and Leaves of Yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. Et Endl.) H. Robinson]," *Tropentag*, pp. 9-11, October 2007.

- [17] K. Valentova, J. Frcek and J. Ulrichova, "Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and Maca (*Lepidium meyenii*), Traditional Andean Crops and New Functional Foods on the European Market (in Czech).," *Chem.Listy*, vol. 95, pp. 594-601, 2001.
- [18] I. Manrique, M. Hermann and T. Bernet, Yacon- Fact Sheet, Peru: International Potato Center (CIP) Lima, 2004.
- [19] X. Yan, . M. Suzuki, M. Obnishi-Kameyama, Y. Sada, T. Nakanikshi and T. Nagata, "Extraction and Identification of Antioxidants in the Root of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*)," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 47, no. 11, pp. 4711-4713, 1999.
- [20] L. Yuanita, P. R. Wikandari, Isnawati and W. B. Sabtiawan, "The Effect of Storage And Boiling Time Of Yacon Tubers to SCFA And Lactic Acid Concentrations By *Bifidobacterium longum* Reuter ATCC 15707 And *Lactobacillus Acidophilus* IFO 13951," *Rasayan J. Chem.*, vol. 11, no. 4, pp. 1635-1642, 2018.
- [21] L. Yuanita, P. R. Wikandari and Isnawati, "The Effectiveness of Using Yacon Tubers FOS as Synbiotic with *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium longum* to Inhibit the Growth of Pathogenic Bacteria," in *The 5th International Conference of Indonesian Chemical Society 30-31 August 2016*, 2016.
- [22] S. Kersten, "Mechanisms of Nutritional and Hormonal Regulation of Lipogenesis," *Embo Reports.*, vol. 2, pp. 282-286, 2001.
- [23] L. Yuanita, P. R. Wikandari, Isnawati, W. B. Sabtiawan, D. A. P. Sari and P. W. Andika, "The Effect of Yacon Tubers as Prebiotics and Sinbiotics against *Salmonella typhimurium* IFO 12529 on *Rattus norvegicus*," in *Mathematics, Informatics, Science, and Education International Conference (MISEIC) 21-July-2018 IOP*, 2018.
- [24] S. Meng, J. Cao, Q. Feng, J. Peng and Y. Hu, "Roles of Chlorogenic Acid on Regulating Glucose and Lipids Metabolism: A Review," *Evidence-Based*, vol. 2013, 2013.
- [25] K. Swennen, M. C. Caurtin and A. Delcour, "Non-Digestible Oligosaccharides with Prebiotic Properties," *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 46, pp. 459-471, 2006.
- [26] P. Glibowski and A. Bukowska, "The Effect of pH, Temperature and Heating Time On Inulin Chemical Stability," *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment*, vol. 10, no. 2, pp. 189-196, 2011.
- [27] B. W. Qiong, I. W. Yong and L. W. Ling, Study on Properties and Inhibition Methods of Polyphenol Oxidase from Yacon., vol. 08, Northern Horticulture, 2011.
- [28] L. Yuanita and P. R. Wikandari, "Mempertahankan Kadar Komponen Bioaktif Umbi Yacon [*Smallanthus sonchifolia* (Poepp.et Endl.) H. Robinson] Melalui Variasi Ketinggian Daerah Tanam dan waktu Panen Serta Inhibitor Alami," *Laporan Penelitian*, 2018.
- [29] L. Yuanita, P. R. Wikandari, Isnawati, W. B. Sabtiawan and D. A. P. Sari, "Chlorogenic acid Yacon Tubers [*Smallanthus Sonchifolia* (Poepp. Et Endl.) H. Robinson] on the Use of Natural Inhibitors and Storage Temperature Variations," in *Mathematics, Informatics, Science, and Education International Conference (MISEIC)*, 2019.
- [30] N. Shiomi, N. Benkeblia, S. Onodera, T. Omori, N. Takahashi, M. Fujishima, T. Yoshihira and S. Kosaka, "Saccharide and Fructooligosaccharide Contents, and Invertase, 1-KHE, 1-SST, 1-FFT, and 6G-FFT Activities in Green Asparagus Spears

- During Storage: Effects of Temperature and Spear Portion,” *J. Appl. Glycosci.*, vol. 54, pp. 187-194, 2007.
- [31] P. Deibert, A. Ewald and A. Berg, “Functional food in athletes,” *European Journal*, vol. 2, no. 4, pp. 1-21, 2002.
- [32] Oz, “The Endurance Athlete’s Guide to Yacon Syrup,” CoachLevi.com, 2018.
- [33] L. Yuanita, P. R. Wikandari, Isnawati and W. B. Sabtiawan, “The Role of FOS-Inulin of Yacon Tubers [*Smallanthus sonchifolia* (Poepp.et Endl.) H. Robinson] on the Binding of Bile Acids and Bile Salt Hydrolase Activities,” *Advanced Science Letters*, vol. 23, no. 12, pp. 1036-6612, 2017.
- [34] L. Yuanita and P. R. Wikandari, “Fructooligosaccharides Yacon Tubers [*Smallanthus sonchifolia* (Poepp.et Endl.) H. Robinson] for Lowering Blood Triglycerides and Total Cholesterol: Length of Storage and Boiling Time Variations,” in *Maulana Ibrahim Malang 7-8 November 2014*, Malang, 2014 .
- [35] N. M. Delzenne, D. Patrice, P. D. Cani and A. M. Neyrinck, “Modulation of Glucagon-like Peptide 1 and Energy Metabolism by Inulin and Oligofructose: Experimental Data,” *J. Nutr.* , vol. 137, p. 2547S–2551S, 2007.
- [36] N. M. Itaya, M. A. M. D. Carvalho and R. D. I. Figueiredo-Ribeiro, “Fructosyl Transferase and Hydrolase Activities in Rhizophores Tuberous Roots Upon Growth of *Polymnia sonchifolia* (Asteraceae),” *Physiologia Plantarum*, vol. 166, no. 4, pp. 451-459, 2002.
- [37] I. M. Martins, S. N. Rodrigues, M. F. Barreiro and A. E. Rodrigues, “Microencapsulation of thyme oil by coacervation,” *J. Microencapsulation*, vol. 26, no. 8, pp. :667-75, 2009.
- [38] C. G. V. Barbosa, E. Ortega, P. Juliano and H. Yan, *Food Powders: Physical Properties, Processing, and Functionality*, New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2005.
- [39] D. Fardiaz and A. Apriantono, *Analisa Pangan*, Bogor: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Dirjen Pendidikan Tinggi PAU Pangan dan Gizi IPB, 1989.
- [40] E. S. Chan, Z. H. Yim, S. H. Phan, R. F. Mansa and P. Ravindra, “Encapsulation of herbal aqueous extract through absorption with ca-alginate hydrogel beads,” *Food and Bioproducts Processing*, vol. 88, no. 2-3, p. 195–201, 2010.
- [41] C. J. Pacifico, W. Wu and M. Fraley, “Sensitive Substance Encapsulation,” *US Patent*, p. 6 251 478, 2001.
- [42] J. M. Allen, R. M. Jagers, L. M. Solden, B. R. Loman, R. H. Davies, A. R. Mackos, C. A. Ladaika, B. M. Berg, M. Chichlowski and M. T. Bailey, “Dietary Oligosaccharides Attenuate Stress-Induced Disruptions in Immune Reactivity and Microbial B-Vitamin Metabolism,” *Frontiers in Immunology*, no. 10, p. 1774, 2019.

Lampiran 1. Kadar Air Sampel Ekstrak Yacon yang Dikeringbekukan

Ulangan	Berat cawan kosong (gram)	Berat sampel (gram)	Berat cawan + sampel konstan (gram)	Berat sampel konstan (gram)	Kadar air (%)
1	14.2362	0.5113	14.6919	0.4557	10.87424213
2	12.721	0.5149	13.1995	0.4785	7.069333851
3	13.0735	0.5065	13.5407	0.4672	7.759131293
4	13.6716	0.5152	14.1356	0.464	9.937888199
5	13.9648	0.5029	14.4406	0.4758	5.388745277

Lampiran 2. Hasil Pengukuran Efisiensi asam klorogenat (CA)

Konsentrasi Standar (ppm)	Luas Area HPLC
5	5.3545
10	19.77899
15	25.22211
20	26.35261
25	39.47503

Komposisi	Luas Area HPLC	Konsentrasi (ppm)	%
EKSTRAK	56.26628	84.98343476	
KK LBG 1:2	35.75184	54.28767819	63.8803096
KK LBG 1:1	44.861	67.9177143	79.91877275
KK LBG 2:1	46.53438	70.42159279	82.86508652
KK PEK 1:2	34.6753	52.67685139	61.98484974
KK PEK 1:1	46.81508	70.8416042	83.35931393
KK PEK 2:1	13.40149	20.84484949	24.52813388
KK ALG 1:2	3.42989	5.924344407	6.971175919
KK ALG 1:1	24.43139	37.34888886	43.9484366
KK ALG 2:1	25.92598	39.58524387	46.5799555

Lampiran 3. Hasil Pengukuran desolusi asam klorogenat (CA)

Komposisi	Waktu	Luas Area HPLC	Konsentrasi (ppm)	%
KK ALG 1:1	10	6.18518	10.04708483	11.82240382
		6.27326	10.17887894	11.97748593
	15	3.68722	6.309387286	7.424255449
		7.94234	12.67632334	14.91622853
	30	9.46632	14.95665462	17.59949413
		11.83208	18.4965413	21.76487848
	45	8.0518	12.84010834	15.10895432
		14.84417	23.00353157	27.06825352
	60	11.71449	18.32059139	21.55783823
		10.71235	16.82108931	19.79337426
		9.39852	14.85520548	17.48011894
		19.72737	30.31026373	35.66608459
	10	6.90304	11.12121875	13.0863371
		6.12329	9.954478827	11.71343434
	15	7.26224	11.65868971	13.71877913
		10.60076	16.65411719	19.59689819
KK ALG 1:2	30	10.93155	17.14907827	20.17931884
		11.2494	17.62467722	20.73895609
	45	20.65789	31.70260081	37.3044475
		19.91593	30.59240606	35.99808144
	60	38.16038	57.89157659	68.12101295
			0.7922	0.932181668
			0.7922	0.932181668
		31.13965	47.3864583	55.75964119
			0.7922	0.932181668
			0.7922	0.932181668
	10	7.35662	11.79991051	13.88495363
		6.04552	9.838111576	11.576505
	15	15.12699	23.42671514	27.56621358
	30	19.07286	29.33092042	34.5136914
	45	26.12752	39.88680818	46.93480358
	60	31.90525	48.53202558	57.10763011
KK LBG 1:1	10	5.94259	9.684097417	11.39527656
		6.56563	10.61635217	12.49226064
	15	16.17282	24.99159057	29.40760236
		16.25002	25.10710493	29.5435281
	30	15.52675	24.02487603	28.27006945
		19.3635	29.76580505	35.02542011
	45	18.26218	28.11789993	33.08633031
		21.09797	32.36109251	38.07929463
		19.6058	30.12835854	35.45203677

		19.28665	29.6508144	34.89011062
		21.79819	33.4088317	39.31216924
	60	19.25233	29.59946138	34.82968353
		25.93057	39.59211189	46.58803448
KK LBG 1:2	10	6.15501	10.00194146	11.76928362
		6.09992	9.919510296	11.67228687
		7.83766	12.51969066	14.73191887
	15	16.27581	25.1456945	29.58893645
		13.86318	21.53567623	25.34102828
	30	18.10101	27.87674126	32.80255892
		19.71999	30.29922104	35.65309066
	45	24.15134	36.92985004	43.45535121
		24.95662	38.13479051	44.87320454
	60	26.04352	39.76111898	46.7869051
		27.62652	42.12976188	49.57408699
KK LBG 2:1	10		0.7922	0.932181668
			0.7922	0.932181668
			0.7922	0.932181668
	15		0.7922	0.932181668
			0.7922	0.932181668
			0.7922	0.932181668
	30		0.7922	0.932181668
			0.7922	0.932181668
			0.7922	0.932181668
	45		0.7922	0.932181668
			0.7922	0.932181668
			0.7922	0.932181668
	60		0.7922	0.932181668
			0.7922	0.932181668
			0.7922	0.932181668
KK PEK 1:1	10	9.68431	15.28283305	17.98330827
	15	10.98677	17.23170395	20.27654448
		8.69263	13.79898227	16.23726119
		7.84729	12.53410003	14.74887437
	30	14.17560	22.00315028	25.89110495
		9.55752	15.09311718	17.76006962
	45	15.24176	23.59844549	27.76828867
		12.40384	19.35206579	22.77157407
	60	16.77876	25.89825859	30.47447854
		16.48446	25.4578975	29.95630568
KK PEK 1:2	10	31.67508	48.1876222	56.70237069
		31.82371	48.41001727	56.96406295
		30.38815	46.26198885	54.43647809
	15	22.94452	35.12408528	41.33050797
		21.49218	32.95094893	38.77337863
			0.7922	0.932181668

	30	26.07407	39.80683094	46.84069437
		25.56321	39.04243112	45.94122517
		25.77617	39.36108317	46.31618301
	45	23.40368	35.81112638	42.13894918
			0.7922	0.932181668
			0.7922	0.932181668
	60	30.38815	46.26198885	54.43647809
			0.7922	0.932181668
			0.7922	0.932181668
KK PEK 2:1	10	6.20772	10.08081144	11.86208991
		6.26869	10.17204085	11.96943955
		6.67534	10.78051124	12.6854266
	15	9.86576	15.55433669	18.30278657
		8.11116	12.92892871	15.21346924
		9.75586	15.38989332	18.10928608
	30	13.68928	21.27546966	25.03484323
		10.90977	17.11648885	20.14097088
		11.61063	18.16518567	21.37497233
	45	18.72474	28.81002846	33.90075789
		19.42204	29.85339845	35.12849126
		21.41328	32.83289086	38.63445971
	60	22.65878	34.69653251	40.82740667

Kadar ekstraks mula-mula 84.98343476 ppm

Lampiran 4. Hasil Pengukuran Availabilitas Mineral In-Vivo

Nama Sampel	Absorbansi Fe	Konsentrasi Fe (mg/L)	Absorbansi Ca	Konsentrasi Ca (mg/L)
P1 Hari 1	0.1347	2.039159503	0.3319	12.357143
	0.1362	2.053486151	0.358	12.835165
	0.1360	2.051575931	0.381	13.25641
P1 Hari 3	0.1569	2.251193887	0.3778	13.197802
	0.1569	2.251193887	0.3705	13.064103
	0.1575	2.256924546	0.3432	12.564103
P1 Hari 5	0.1652	2.330468004	0.3211	12.159341
	0.1665	2.342884432	0.323	12.194139
	0.1666	2.343839542	0.3295	12.313187
P1 Hari 7	0.1382	2.072588348	0.5701	16.71978
	0.1405	2.094555874	0.5699	16.716117
	0.1401	2.090735435	0.5698	16.714286
P1 Hari 9	0.1162	1.862464183	0.6804	18.739927
	0.1166	1.866284623	0.6796	18.725275
	0.1166	1.866284623	0.6793	18.71978
P2 Hari 1	0.3443	4.041069723	0.59	17.084249
	0.3439	4.037249284	0.5505	16.360806
	0.3420	4.019102197	0.5326	16.032967
P2 Hari 3	0.6486	6.947468959	0.3457	12.60989
	0.6465	6.927411652	0.3188	12.117216
	0.6450	6.913085005	0.2822	11.446886
P2 Hari 5	0.6654	7.107927412	0.1604	9.2161172
	0.6621	7.076408787	0.1484	8.996337
	0.6659	7.112702961	0.1322	8.6996337
P2 Hari 7	0.5755	6.249283668	0.2724	11.267399
	0.5795	6.287488061	0.2401	10.675824
	0.5834	6.324737345	0.2124	10.168498
P2 Hari 9	0.6669	7.122254059	0.3344	12.40293
	0.6715	7.166189112	0.2959	11.697802
	0.6679	7.131805158	0.2594	11.029304
K- Hari 1	0.2322	2.970391595	0.192	9.7948718
	0.2286	2.936007641	0.1624	9.2527473
	0.2292	2.9417383	0.1347	8.7454212

K- Hari 3	0.3714	4.299904489	0.1799	9.5732601
	0.3723	4.308500478	0.147	8.970696
	0.3723	4.308500478	0.1187	8.452381
K- Hari 5	0.1282	1.977077364	0.4392	14.322344
	0.1265	1.960840497	0.4373	14.287546
	0.1250	1.946513849	0.4346	14.238095
K- Hari 7	0.1980	2.643744031	0.3313	12.346154
	0.1986	2.64947469	0.3345	12.404762
	0.1997	2.659980898	0.3339	12.393773
K- Hari 9	0.1014	1.721107927	0.1801	9.5769231
	0.1007	1.714422159	0.1567	9.1483516
	0.2065	2.724928367	0.1359	8.7673993
K+ Hari 1	0.2063	2.723018147	0.4076	13.74359
	0.2049	2.709646609	0.3931	13.478022
	0.2192	2.846227316	0.3166	12.076923
K+ Hari 3	0.2183	2.837631328	0.7952	20.842491
	0.2188	2.842406877	0.7925	20.79304
	0.3666	4.254059217	0.7834	20.626374
K+ Hari 5	0.3356	3.957975167	0.5985	17.239927
	0.3356	3.957975167	0.5851	16.994505
	0.3256	3.862464183	0.6029	17.320513
K+ Hari 7	0.2843	3.468003820	0.3829	13.291209
	0.2828	3.453677173	0.3674	13.007326
	0.2830	3.455587393	0.3402	12.509158
K+ Hari 9	0.2386	3.031518625	0.9681	24.009158
	0.2374	3.020057307	0.8912	22.600733
	0.2383	3.028653295	0.8634	22.091575

Lampiran 4 Pengesahan Pembahas

LEMBAR PEMBAHASAN

Laporan Akhir Penelitian yang berjudul,

PENGEMBANGAN EKSTRAK ATAUPUN SIRUP YACON [*SMALLANTHUS SONCHIFOLIA* (POEPP.ET ENDL.)
H.ROBINSON] UNTUK KESEHATAN ATLET

Dengan peneliti berikut

- | | |
|------------------------------------|------------------|
| 1. Dr. I Gusti Made Sanjaya, M.Si. | NIDN: 0004126505 |
| 2. Prof. Dr. LenyYuanita, M. Kes. | NIDN: 0012095107 |
| 3. Dr.Prima RetnoWikandari, M.Si. | NIDN: 0015116402 |

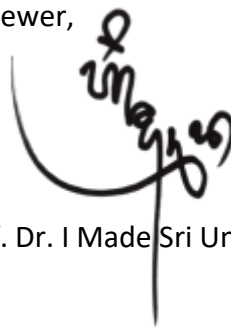
dipaparkan pada tanggal 28 November 2020 di LPPM Universitas Negeri Surabaya

Catatan:

1. Kuatkan pembahasan mengenai *reabsorbs* $C_3H_6O_3$ sebagai bagian dari upaya mempersingkat waktu Lelah/ istirahat olahragawan.
2. Jika mungkin perlu dijelaskan secara teoretis tentang perubahan gugus fungsi dan ikatan kimia pada proses enkapsulasi terhadap bahan murni dan bahan yang telah berkombinasi, dan kemungkinan keterkaitannya dengan *reabsorbs* $C_3H_6O_3$.
3. Perhatikan tata tulis termasuk penulisan Bahasa yang bukan Bahasa Indonesia

Surabaya, 28 November 2020

Reviewer,



Prof. Dr. I Made Sri Undy Mahardika, M.Pd.

LEMBAR PEMBAHASAN

Laporan Akhir Penelitian yang berjudul

**PENGEMBANGAN EKSTRAK ATAUPUN SIRUP YACON [SMALLANTHUS
SONCHIFOLIA (POEPP.ET ENDL.) H.ROBINSON] UNTUK KESEHATAN ATLET**

Dengan peneliti berikut:

- | | |
|------------------------------------|-----------------|
| 1. Dr. I Gusti Made Sanjaya, M.Si. | NIDN 0004126505 |
| 2. Prof. Dr. LenyYuanita, M. Kes. | NIDN 0012095107 |
| 3. Dr. Prima RetnoWikandari, M.Si. | NIDN 0015116402 |

Telah dipaparkan pada tanggal 28 Nopember 2020 di LPPM Universitas Negeri Surabaya

Catatan:

1. Tanda tangan KA LPPM belum
2. Latar Belakang lebih dipertajam ke arah sasaran
3. Luaran dan target mohon diperjelas? (dilaporan akhir belum ada)
4. Mitra belum ada

Surabaya, 28 Nopember 2020
Reviewer,



Oce Wiriawan, Dr., M.Kes.
NIP. 197305291998031001

PENGESAHAN DARI PEMBAHAS

Laporan Akhir Penelitian yang berjudul

**PENGEMBANGAN EKSTRAK DAN SIRUP YACON [SMALLANTHUS SONCHIFOLIA (POEPP. ET
ENDL.) H.ROBINSON] UNTUK KESEHATAN ATLET**

Dengan peneliti berikut

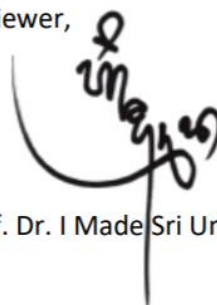
- | | |
|------------------------------------|------------------|
| 1. Dr. I Gusti Made Sanjaya, M.Si. | NIDN: 0004126505 |
| 2. Prof. Dr. LenyYuanita, M. Kes. | NIDN: 0012095107 |
| 3. Dr.Prima RetnoWikandari, M.Si. | NIDN: 0015116402 |

Telah dipaparkan pada tanggal 28 Nopember 2020 di LPPM Universitas Negeri Surabaya

~~Belum~~ / Sudah* direvisi berdasarkan masukan pembahas

Surabaya, 30 Nopember 2020

Reviewer,



Prof. Dr. I Made Sri Undy Mahardika, M.Pd.

PENGESAHAN DARI PEMBAHAS

Laporan Akhir Penelitian yang berjudul

**PENGEMBANGAN EKSTRAK DAN SIRUP YACON [*SMALLANTHUS SONCHIFOLIA* (POEPP.ET
ENDL.) H.ROBINSON] UNTUK KESEHATAN ATLIT**

Dengan peneliti berikut

- | | |
|------------------------------------|------------------|
| 1. Dr. I Gusti Made Sanjaya, M.Si. | NIDN: 0004126505 |
| 2. Prof. Dr. LenyYuanita, M. Kes. | NIDN: 0012095107 |
| 3. Dr.Prima RetnoWikandari, M.Si. | NIDN: 0015116402 |

Telah dipaparkan pada tanggal 28 Nopember 2020 di LPPM Universitas Negeri Surabaya

Sudah direvisi berdasarkan masukan pembahas

Surabaya, 15 Desember 2020

Reviewer,



Dr. Oce Wiriawan, M.Kes