

KARAKTERISASI FISIK *BEADS* KOMPOSIT ALGINAT DENGAN PENAMBAHAN PATI BENGKUANG (*Pachyrhizus erosus* L.)

Characterization of Alginate Composite Beads with the Addition of Jicama Starch (*Pachyrhizus erosus* L.)

Neta Yolanda¹, Ira Desri Rahmi², Deivy Andhika Permata²

¹ Mahasiswa Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas

² Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas

Email: iradesri@ae.unand.ac.id

ABSTRAK

Beads merupakan mikrokapsul berbentuk bulat yang berfungsi sebagai substrat padat untuk melapisi atau mengenkapsulasi senyawa aktif. Natrium alginat, sering dipilih sebagai polimer pembentuk *beads* karena keunggulannya, namun seringkali menghasilkan *beads* dengan karakteristik fisik yang kurang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh penambahan variasi konsentrasi pati bengkuang yang berbeda terhadap kualitas *beads*. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan lima perlakuan variasi konsentrasi pati bengkuang dan tiga ulangan, serta dianalisis secara statistik menggunakan ANOVA dan uji lanjut DNMR. Hasil menunjukkan bahwa penambahan pati bengkuang berpengaruh nyata terhadap karakteristik fisik *beads*, seperti morfologi, diameter, sferikal faktor, densitas, porositas, dan sineresis. Perlakuan terbaik berdasarkan karakterisasi fisik *beads* terbaik yaitu penambahan 2% pati bengkuang dengan karakteristik fisik yaitu diameter $4,57 \pm 0,03$ mm, berbentuk bulat dengan sferikal faktor $0,02 \pm 0,00$, densitas $0,73 \pm 0,08$ g/cm³, porositas $94,74 \pm 0,16$ % dan sineresis $35,37 \pm 0,21$ %. Temuan ini mengindikasikan potensi pati bengkuang dalam meningkatkan kualitas fisik *beads* berbasis natrium alginat.

Kata kunci: Alginat, *Beads*, Komposit, Pati Bengkuang

ABSTRACT

Beads are spherical microcapsules that serve as a solid substrate for coating or encapsulating active compounds. Sodium alginate, frequently chosen as a bead-forming polymer due to its advantages, often yields beads with suboptimal physical characteristics. This study aimed to identify the effect of adding different concentrations of jicama starch on bead quality. A Completely Randomized Design (CRD) was employed, comprising five treatments with varying jicama starch concentrations and three replications. Statistical analysis was performed using ANOVA and the DNMR post-hoc test. The results showed that the addition of jicama starch significantly affected the physical characteristics of the beads, including morphology, diameter, sphericity factor, density, porosity, and syneresis. The best treatment, based on physical characterization, was the addition of 2% jicama starch, which exhibited a diameter of 4.57 ± 0.03 mm, a spherical shape with a sphericity factor of 0.02 ± 0.00 , a density of 0.73 ± 0.08 g/cm³, a porosity of 94.74 ± 0.16 % and a syneresis of 35.37 ± 0.21 %. These findings indicate the potential of jicama starch in improving the physical quality of sodium alginate-based beads.

Keywords: Alginate, Beads, Composite, Jicama Starch

PENDAHULUAN

Beads merupakan mikrokapsul berbentuk bulat yang biasa digunakan sebagai substrat padat untuk melapisi atau mengenkapsulasi senyawa tertentu. *Beads* berbentuk tiga dimensi dan memiliki sifat hidrofilik dan polimer yang menyusun *beads* ini mampu menyerap sejumlah besar air dan senyawa target (Hidayah, 2019). Dari karakter tersebut *beads* banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang, seperti enkapsulan sel (Park *et al.*, 2015), *drug delivery* (Kim *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2010; Nayak *et al.*, 2018), adsorben pewarna alam. Pembuatan *beads* seringkali melibatkan polimer alami seperti alginat, pektin, guar gum, xanthan gum. Alginat adalah salah satu polimer karbohidrat dan

heteropolisakarida alami yang sering digunakan dalam pembuatan *beads* (Homayouni *et al.*, 2008). Hal ini dikarenakan alginat memiliki sejumlah keunggulan, seperti kemampuannya mengikat dan mempertahankan air, membentuk gel, menstabilkan emulsi (Puguan *et al.*, 2014).

Meskipun memiliki banyak keunggulan, alginat juga memiliki kekurangan sebagai bahan dalam pembuatan *beads*. Menurut Rohman *et al.*, 2021, *beads* alginat memiliki kekuatan mekanik yang rendah dan penyusutan *beads* yang menghasilkan penampilan buruk dan perlindungan sel yang tidak memadai. Peningkatan sifat *beads* alginat dapat dilakukan dengan penambahan *filler*. *Filler* merupakan bahan tambahan yang berfungsi sebagai pengisi dalam suatu material dengan tujuan meningkatkan atau mengubah sifat-sifatnya. Pati dianggap sebagai *filler* atau bahan pengisi organik yang potensial untuk dijadikan sebagai bahan pengisi dalam pembuatan *beads*. Hal ini dikarenakan pati memiliki sifat fisika dan kimia yang menguntungkan, seperti sifat hidrofilik, kemampuan terdegradasi secara hayati, sifat polifungsional, tingkat reaktivitas kimia yang tinggi, serta kemampuan adsorpsi yang baik (Renault *et al.*, 2008).

Pati memiliki dua jenis molekul yaitu amilosa dan amilopektin yang memungkinkan pati memiliki berbagai fungsi dalam industri. Pati bersifat *biodegradable* dan dapat terdegradasi secara alami melalui proses biologis (Zulvianti *et al.*, 2022). Sifat-sifat tersebut membuat pati memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan tidak hanya di industri pangan, tetapi juga di sektor non-pangan. Salah satu sumber pati yang berlimpah adalah bengkuang. Bengkuang (*Pachyrhizus erosus L.*) adalah tanaman kelompok umbi-umbian yang telah banyak diketahui oleh masyarakat Indonesia. Ketersediaan bengkuang cukup melimpah, terutama di Sumatera Barat, dengan luas lahan bengkuang mencapai 128 hektar dan produksi sebesar 192 kuintal per hektar setiap tahunnya (Langobelen, 2023). Pada penelitian terdahulu, pati bengkuang telah dimanfaatkan sebagai bahan pengisi dalam pembuatan *edible film* (Wigati *et al.*, 2022), *edible coating* (Li *et al.*, 2018). Penggunaan berbagai jenis pati dalam pembuatan *beads* alginat juga telah dikaji, seperti pati sagu (Miskiyah *et al.*, 2020; Arnata, 2020), pati jagung (Ahmadzadeh dan Ubeyitogullari, 2022). Beberapa peneliti menunjukkan penggunaan pati dalam pembuatan *beads* komposit dapat mempengaruhi karakterisasi dari *beads* yang dihasilkan. Berdasarkan uraian tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh penambahan pati bengkuang terhadap karakteristik fisik *beads* komposit alginat.

METODOLOGI PENELITIAN

A. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah bengkuang, natrium alginat, kalsium klorida (CaCl_2), dan akuades. Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini berupa alat gelas, spatula, neraca analitik, *syringe* 60 mL, cawan, loyang, *magnetic stirrer*, cawan porselin, oven, pamarut, tanur, desikator, digital *caliper*, juicer, saringan 120 mesh.

B. Pelaksanaan Penelitian

1. Pembuatan Pati Bengkuang

Bengkuang disiapkan sebanyak 2000 g dan dikupas kulitnya setelah itu dipotong kecil-kecil dan ditimbang dengan timbangan. Potongan-potongan bengkuang kemudian dimasukkan ke dalam alat *juicer* berkecepatan rendah untuk memisahkan sari pati dari ampasnya, setelah itu disaring, sari pati ditampung dalam wadah, lalu dibiarkan mengendap selama 12 jam di suhu ruangan. Ketika pati telah mengendap, proses pengeringan dilakukan dengan menggunakan oven pada suhu 50 °C selama 20 jam. Setelah proses pengeringan selesai, pati dihaluskan dan disaring menggunakan ayakan berukuran 120 mesh (Mahardika, 2019). Pengamatan yang dilakukan terhadap pati meliputi: rendemen, kadar air, dan kadar abu.

2. Pembuatan *Beads* Komposit Alginat

Komposit *beads* alginat pati dibuat sebanyak 100 g berdasarkan formulasi. Akuades dimasukan ke dalam gelas piala 250 ml, lalu ditambahkan pati diaduk menggunakan *magnetic stirrer* kecepatan 1000 rpm selama 60 menit. Selanjutnya ditambahkan alginat secara bertahap sambil terus diaduk supaya tidak terjadi penggumpalan diaduk 750 rpm dan dipanaskan dengan suhu 67 °C hingga terbentuk larutan yang transparan. Pembentukan *beads* dilakukan dengan teknik gelas *ionic* yaitu

dengan cara memasukan larutan kedalam *syringe* 60 mL, kemudian diteteskan secara manual dari ketinggian sekitar 10 cm ke dalam larutan CaCl_2 5 %, sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 200 rpm. Proses ini menghasilkan *beads* komposit pati-alginat. *Beads* yang terbentuk diaduk selama 30 menit, kemudian dibilas dengan aquades demineralisasi. Selanjutnya, *beads* direndam dalam akuades demineralisasi dan dilakukan pengamatan terhadap *beads* komposit alginat yaitu terhadap penampakan visual, diameter beads, spherical factor, kadar air, densitas, porositas dan sineresis.

C. Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 5 perlakuan dan 3 kali pengulangan. Perlakuan yang digunakan yaitu dengan variasi konsentrasi pati bengkung (*Pachyrhizus erosus*). Perolehan data dianalisis secara statistik melalui analisis sidik ragam atau *Analysis of Variance* (ANOVA). Selanjutnya dengan *Duncan's New Multiple Range Test* (DNMRT) jika berbeda nyata pada taraf 5%. Formulasi pembuatan *beads* komposit alginat dengan penambahan pati bengkung tersaji pada Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Formulasi Pembuatan *Beads* Alginat dengan Penambahan Pati Bengkung

Bahan	Komposisi				
	A	B	C	D	E
Pati bengkung (g)	0	1	2	3	4
Natrium alginat (g)	2	2	2	2	2
Akuades (g)	98	97	96	95	94
CaCl_2 5 % (mM)	100	100	100	100	100

Sumber : Modifikasi (Arnata, 2020).

Penentuan perlakuan terbaik diperoleh berdasarkan pada karakteristik fisik *beads*. Adapun karakteristik fisik yang menjadi acuan adalah diameter dan sperikal faktor. Diameter berkaitan dengan kemampuan pembentukan *beads* dan sperikal factor yang menunjukkan seberapa bulat *beads* yang dihasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Pati Bengkung

Analisis pati bengkung meliputi parameter rendemen, kadar air, dan kadar abu (Tabel 2). Rendemen pati bengkung yang diperoleh dalam penelitian ini adalah 2,33%, nilai yang sebanding dengan temuan Asben *et al.* (2018) yang melaporkan rendemen sebesar 2,098% dari bengkung segar. Meskipun demikian, nilai ini relatif lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian Indrian (2024) yang mencapai 3,16%. Variasi rendemen ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk varietas bengkung, tingkat kematangan, serta metode ekstraksi yang digunakan.

Tabel 2. Hasil Analisis Pati Bengkung

Bahan Baku	Rendemen (%)	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)
Pati Bengkung	2,33 % $\pm$ 0,18	9,06 % $\pm$ 0,21	0,34% $\pm$ 0,19

Rendemen pati bengkung yang diperoleh dalam penelitian ini adalah 2,33%, nilai yang sebanding dengan temuan Asben *et al.* (2018) yang melaporkan rendemen sebesar 2,098% dari bengkung segar. Meskipun demikian, nilai ini relatif lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian Indrian (2024) yang mencapai 3,16%. Variasi rendemen ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk varietas bengkung, tingkat kematangan, serta metode ekstraksi yang digunakan.

Kadar air merupakan parameter kritis yang memengaruhi sifat alir dan karakteristik mekanik pati. Hasil analisis menunjukkan kadar air pati bengkung sebesar 9,06%, lebih rendah dibandingkan dengan penelitian Indrian (2024) yang melaporkan kadar air 10,14%. Nilai ini konsisten dengan hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan kadar air pati bengkung di bawah 10% (Asben *et al.*, 2018). Winarno (2004) menyatakan bahwa produk pangan dengan kadar air di bawah 14% relatif

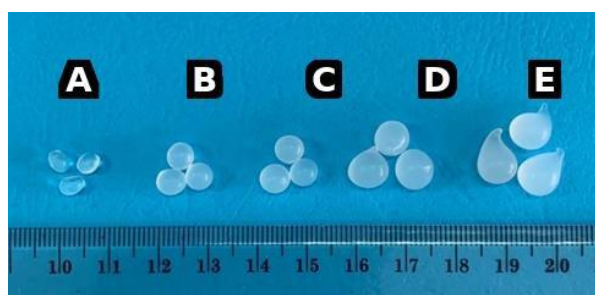
aman dari risiko pertumbuhan kapang, dengan batas maksimum yang direkomendasikan untuk produk kering seperti tepung dan pati adalah 10% untuk mempertahankan stabilitas selama penyimpanan. Meskipun belum terdapat standar resmi untuk pati bengkuang dalam SNI, kadar air yang diperoleh (9,06%) masih memenuhi persyaratan yang ditetapkan untuk berbagai jenis tepung dan pati komersial, seperti tepung terigu (maksimum 14,5%, SNI 2018), tepung tapioka (maksimum 14%, SNI 2011), dan pati sagu (maksimum 13%, SNI 1995).

Kadar abu pati bengkuang yang dianalisis adalah 0,34%, nilai yang dipengaruhi secara signifikan oleh tahapan proses pengolahan, terutama ekstraksi, pencucian, dan penyaringan berulang. Proses-proses tersebut dapat menyebabkan solubilisasi sebagian mineral dari umbi, yang kemudian terbuang bersama ampas, sehingga menurunkan kandungan mineral dalam produk akhir. Kadar abu yang diperoleh masih berada dalam batas yang ditetapkan oleh Standar Industri Indonesia (SII) sebagaimana dikutip oleh Suharti *et al.* (2016), yaitu maksimum 2%. Hasil ini juga sebanding dengan penelitian Ascheri *et al.* (2014) yang melaporkan kadar abu pati bengkuang berkisar antara 0,17% hingga 0,25%

B. Morfologi Beads Komposit Alginat

Karakteristik morfologis *beads* komposit alginat dari berbagai formulasi dapat diobservasi pada Gambar 1. *Beads* kontrol (perlakuan A, tanpa penambahan pati) menunjukkan transparansi tinggi, sedangkan penambahan pati secara gradual menghasilkan peningkatan opasitas yang signifikan. Secara umum, *beads* menampilkan morfologi sferis hingga bentuk tetesan air (*tear-drop shape*) dengan permukaan yang relatif halus, konsisten dengan karakteristik *beads* yang dihasilkan melalui proses gelasi ionik sebagaimana dilaporkan oleh Gallo *et al.* (2020).

Analisis komparatif menunjukkan bahwa *beads* yang tersusun dari alginat murni (tanpa pati) cenderung memiliki dimensi yang lebih kecil dengan morfologi yang kurang reguler, sementara *beads* komposit alginat-pati menunjukkan peningkatan ukuran secara proporsional dengan konsentrasi pati. Pada konsentrasi pati tertinggi (perlakuan E, 4 g pati), *beads* secara dominan menampilkan morfologi *tear-drop shape*. Menurut Chan *et al.* (2009), morfologi *tear-drop shape* dikarakterisasi oleh struktur sferis pada bagian basal yang menyempit ke arah apikal, membentuk protrusi menyerupai ekor pada bagian atas *beads*.



Gambar 1. *Beads* Komposit Alginat

C. Kadar Air

Kadar air merupakan parameter penting yang berhubungan dengan stabilitas produk selama penyimpanan. Hasil uji kadar air pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Kadar Air *Beads* Komposit Alginat

Perlakuan	Kadar Air (%) $\pm$ SD
A Tanpa penambahan pati	94,78 $\pm$ 0,92 ^a
B Penambahan 1 g pati	95,02 $\pm$ 0,19 ^a
C Penambahan 2 g pati	96,25 $\pm$ 0,53 ^b
D Penambahan 3 g pati	97,16 $\pm$ 0,18 ^c
E Penambahan 4 g pati	98,05 $\pm$ 0,06 ^d

Berdasarkan hasil sidik ragam pada taraf $\alpha = 5\%$ menunjukkan bahwa penambahan pati bengkuang berpengaruh nyata terhadap kadar air dari *beads* komposit alginat. Berdasarkan tabel, kadar air rata-rata yang diperoleh berkisar antara 94,78% hingga 98,05%. Nilai ini hampir sama dengan

penelitian Li *et al.* (2019), yang melaporkan kadar air *beads* berada dalam rentang 95% – 97%. Pati bengkuang berpengaruh nyata terhadap kadar air *beads* alginat. Kadar air dari *beads* komposit alginat menunjukkan peningkatan seiring dengan meningkatnya konsentrasi pati bengkuang. Peningkatan ini dikaitkan dengan komposisi pati bengkuang yang lebih tinggi kadar amilopektin dibanding amilosa. Menurut Syahbanu *et al.* (2023) amilopektin memiliki struktur molekul yang lebih besar dan bercabang sehingga menyebabkan ikatan hidrogen yang lemah antar rantai polimer. Amilopektin membentuk struktur amorf dan kurang teratur, formulasi rendah amilosa dan tinggi amilopektin menghasilkan film yang memiliki jaringan yang lebih terbuka (Figueroa dan Villabona 2024). Dalam pembuatan *beads* berbasis alginat dengan penambahan pati bengkuang, dominasi amilopektin menyebabkan terbentuknya jaringan matriks yang lebih longgar dan berpori, sehingga memungkinkan air lebih mudah terperangkap di dalam struktur *beads*.

D. Diameter

Pengukuran diameter merupakan bagian dari analisis fisik yang dilakukan untuk mengetahui rata-rata ukuran *beads*. Proses pengukuran dilakukan menggunakan digital *caliper*. Pengaruh penambahan pati bengkuang terhadap diameter *beads* komposit alginat dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Diameter *Beads* Komposit Alginat

Perlakuan	Diameter (mm) $\pm$ SD
A Tanpa penambahan pati	3,15 $\pm$ 0,20 ^a
B Penambahan 1 g pati	4,26 $\pm$ 0,12 ^b
C Penambahan 2 g pati	4,57 $\pm$ 0,03 ^c
D Penambahan 3 g pati	6,46 $\pm$ 0,11 ^d
E Penambahan 4 g pati	7,60 $\pm$ 0,21 ^e

Berdasarkan hasil sidik ragam pada taraf $\alpha = 5\%$ diketahui bahwa penambahan pati bengkuang berpengaruh nyata terhadap diameter dari *beads* komposit alginat. Hasil uji lanjut Duncan menunjukkan perbedaan yang nyata terhadap setiap perlakuan. Diameter *beads* yang dihasilkan berkisar antara 3,15 mm - 7,60 mm. Nilai ini hampir sama dengan penelitian Martin *et al.* (2017) yang melaporkan bahwa diameter *beads* berkisar antara 200 μ m - 7,0 mm. Hasil diameter yang diperoleh dari penelitian ini lebih besar dari pada penelitian Miskiyah *et al.* (2020) yang mana diameter *beads* yang dihasilkan 2,15 mm – 3,00 mm. Peningkatan konsentrasi pati bengkuang dalam formulasi mempengaruhi diameter dari *beads* komposit alginat. Peningkatan diameter tersebut disebabkan oleh meningkatnya viskositas larutan dan retensi cairan lebih tinggi di ujung *syringe* akibatnya diameter *beads* komposit meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi pati dalam *beads* komposit. Kondisi ini berkontribusi terhadap berkurangnya tingkat pengkerutan yang terjadi saat campuran tersebut ditetaskan ke dalam larutan CaCl_2 untuk proses pembentukan *beads* (Arnata 2020). *Beads* komposit alginat yang dihasilkan diketahui berukuran mikro dan makro yang memiliki kapasitas muatan yang lebih tinggi dari pada *beads* yang berukuran nano (Rohman *et al.*, 2021).

E. Sperikal Faktor

Uji sperikal faktor bertujuan untuk menunjukkan seberapa dekat bentuk suatu objek dengan bola. Nilai sperikal faktor bervariasi, mulai dari nol untuk menunjukkan bentuk *beads* yang sempurna hingga mendekati bentuk aslinya. Hasil uji sperikal faktor pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Sperikal Faktor *Beads* Komposit Alginat

Perlakuan	Sperikal Faktor $\pm$ SD
B Penambahan 1 g pati	0,02 $\pm$ 0,00 ^a
C Penambahan 2 g pati	0,02 $\pm$ 0,00 ^a
D Penambahan 3 g pati	0,06 $\pm$ 0,01 ^b
A Tanpa penambahan pati	0,08 $\pm$ 0,01 ^c
E Penambahan 4 g pati	0,18 $\pm$ 0,02 ^d

Berdasarkan hasil sidik ragam pada taraf $\alpha = 5\%$ menunjukkan bahwa penambahan pati bengkuang berpengaruh nyata terhadap sperikal faktor dari *beads* komposit alginat. Berdasarkan data

pada tabel, nilai rata-rata sperikal faktor berkisar antara 0,02 hingga 0,18. Nilai ini sejalan dengan hasil penelitian Rohman *et al.* (2021), yang melaporkan sperikal faktor pada kisaran 0,05 hingga 0,23. Menurut Chan *et al.* (2009), nilai sperikal faktor mendekati nol menunjukkan bentuk *beads* yang hampir bulat sempurna, sedangkan nilai yang lebih tinggi menunjukkan tingkat distorsi bentuk yang lebih besar. Sementara itu, Chan (2011) menyatakan bahwa *beads* dengan sperikal faktor kurang dari 0,05 sudah dapat dikategorikan sebagai *beads* yang berbentuk bulat. *Beads* yang terbentuk dari alginat tanpa penambahan pati umumnya berukuran lebih kecil dan memiliki bentuk yang kurang teratur akibat keruntuhan struktur saat proses sublimasi air dari matriks berlangsung (Rohman *et al.*, 2021). Sementara itu, *beads* yang disusun dari campuran alginat dan pati cenderung berukuran sedikit lebih besar. Pada konsentrasi pati yang paling tinggi terlihat *beads* seperti memiliki ekor atau terlihat seperti tetesan air mata (*teardrop*) hal itu terjadi karena *beads* dengan kandungan pati yang tinggi memiliki viskositas yang tinggi sehingga larutan tersebut sulit untuk dipompa dan *beads* yang dihasilkan akan berbentuk seperti air mata (*teardrop*). Hal ini didukung oleh Chan *et al.* (2009) yang melaporkan bahwa peningkatan pati pada konsentrasi optimal yang lebih tinggi tidak menghasilkan peningkatan lebih lanjut dalam kebulatan *beads* alginat.

F. Densitas

Densitas *beads* diperoleh melalui perbandingan antara massa kering dan volume *beads*. Nilai densitas ini berfungsi sebagai indikator untuk menilai tingkat kerapatan atau kekompakan dari *beads* komposit. Hasil uji densitas pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Densitas <i>Beads</i> Komposit Alginat	
Perlakuan	Densitas (g/cm ³) ± SD
E Penambahan 4 g pati	0,44 ± 0,03 ^a
D Penambahan 3 g pati	0,56 ± 0,04 ^b
C Penambahan 2 g pati	0,73 ± 0,08 ^c
B Penambahan 1 g pati	0,82 ± 0,03 ^d
A Tanpa penambahan pati	0,89 ± 0,06 ^d

Berdasarkan hasil sidik ragam pada taraf $\alpha = 5\%$ menunjukkan bahwa penambahan pati bengkung berpengaruh nyata terhadap densitas dari *beads* komposit alginat. Hasil ini menunjukkan bahwa densitas *beads* komposit alginat dipengaruhi oleh konsentrasi pati bengkung yang ditambahkan. Penurunan densitas disebabkan oleh kandungan amilopektin yang tinggi dan amilosa yang rendah pada pati bengkung. Amilopektin memiliki struktur bercabang dan ukuran molekul yang besar, yang cenderung membentuk struktur amorf dan kurang teratur. Struktur amorf ini memiliki jaringan yang lebih terbuka (Figuerola dan Villabona, 2024). Rendahnya kandungan amilosa pada pati bengkung juga menyebabkan stuktur *beads* yang lebih berpori. Hal ini sesuai dengan pendapat Feltre *et al.* (2020) yang menyatakan film dengan kandungan amilosa yang rendah menunjukkan struktur mikro yang lebih berpori dari pada film yang terbuat dari kandungan amilosa yang tinggi.

G. Porositas

Porositas menggambarkan jumlah total ruang dalam butiran *beads* yang dapat ditempati oleh air maupun udara. Hasil uji porositas pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Porositas <i>Beads</i> Komposit Alginat	
Perlakuan	Porositas (%) ± SD
A Tanpa penambahan pati	94,10 ± 0,08 ^a
B Penambahan 1 g pati	94,34 ± 0,12 ^{ab}
C Penambahan 2 g pati	94,74 ± 0,16 ^b
D Penambahan 3 g pati	95,45 ± 0,49 ^c
E Penambahan 4 g pati	96,12 ± 0,14 ^d

Berdasarkan hasil sidik ragam pada taraf $\alpha = 5\%$ menunjukkan bahwa penambahan pati bengkung berpengaruh nyata terhadap porositas dari *beads* komposit alginat. Hasil ini menunjukkan bahwa porositas *Beads* komposit alginat dipengaruhi oleh penambahan pati yang digunakan. Hasil ini

menunjukkan semakin tinggi jumlah pati yang digunakan, maka semakin tinggi porositas *beads* yang dihasilkan. Peningkatan porositas dipengaruhi oleh menurunnya densitas atau kerapatan material dan sebaliknya Penurunan porositas dipengaruhi oleh meningkatnya densitas atau kerapatan material, yang mengakibatkan berkurangnya jumlah dan ukuran pori-pori di dalam struktur komposit (Dixit dan Srivastava, 2018). Porositas *beads* komposit semakin meningkat berkaitan dengan kadar air pada *beads* komposit semakin meningkat (Arnata 2020). Porositas yang tinggi juga disebabkan oleh ukuran volume *beads* yang lebih besar. Volume yang lebih besar memberikan ruang internal yang lebih luas, sehingga memungkinkan air, udara, dan bagian yang tidak terisi bahan padat mengisi rongga-rongga tersebut. Kondisi ini berperan dalam meningkatkan tingkat porositas pada struktur *beads* (Sartika 2020). Selain itu afinitas ion kalsium yang tinggi juga dilaporkan mampu menurunkan porositas pada *beads* berbasis alginat (Velings dan Mestdagh, 1995).

H. Sineresis

Sineresis adalah suatu proses di mana air keluar atau terlepas dari permukaan matriks *beads* akibat adanya pengaruh gaya eksternal (Ching *et al.*, 2015). Sineresis ditandai oleh terjadinya penurunan bobot *beads* selama masa penyimpanan serta adanya penyusutan atau pengkerutan pada struktur *beads* (Puguan *et al.*, 2014). Hasil uji sineresis pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Sineresis *Beads* Komposit Alginat

Perlakuan	Sineresis (%) $\pm$ SD
A Tanpa penambahan pati	34,57 $\pm$ 0,29 ^a
B Penambahan 1 g pati	34,80 $\pm$ 0,21 ^{ab}
C Penambahan 2 g pati	35,37 $\pm$ 0,21 ^b
D Penambahan 3 g pati	36,55 $\pm$ 0,68 ^c
E Penambahan 4 g pati	37,94 $\pm$ 0,41 ^d

Berdasarkan hasil sidik ragam pada taraf $\alpha = 5 \%$ menunjukkan bahwa penambahan pati bengkang berpengaruh nyata terhadap sineresis dari *beads* komposit alginat yang dihasilkan. Berdasarkan Tabel diperoleh rata-rata sineresis *beads* komposit alginat berkisar antara 34,57% - 37,94%. Hasil ini lebih besar dari pada penelitian arnata (2020) yang nilai sineresisnya berkisaran antara 23,40%- 33,92%. Hasil ini menunjukkan bahwa sineresis *beads* komposit alginat dipengaruhi oleh konsentrasi pati bengkang yang ditambahkan. Semakin tinggi konsentrasi pati bengkang yang digunakan, maka semakin tinggi sineresis *beads* komposit alginat yang dihasilkan. Tingginya nilai sineresis dipengaruhi oleh kandungan air dalam *beads* komposit yang relatif besar (Arnata 2020). Nilai sineresis yang tinggi disebabkan oleh kerapatan atau densitas *beads* lebih rendah sehingga air mudah terlepas dari matriks *beads* (Aarstad *et al.*, 2013).

Penentuan Perlakuan Terbaik

Berdasarkan hasil rekapitulasi data penelitian *beads* alginat pada Tabel 9. Perlakuan C (penambahan 2% pati bengkang) dipilih sebagai perlakuan terbaik dalam pembuatan *beads* alginat dengan mempertimbangkan karakteristik fisik yaitu diameter dan sperikal faktor *beads*.

Tabel 9. Rekapitulasi Hasil Pengujian

Parameter	Perlakuan				
	A	B	C	D	E
Kadar Air	94,78%	95,02%	96,25%	97,16%	98,05%
Diameter	3,15 mm	4,26 mm	4,57 mm	6,46 mm	7,60 mm
Sperikal Faktor	0,08	0,02	0,02	0,06	0,018
Densitas	0,89 g/cm ³	0,82 g/cm ³	0,73 g/cm ³	0,56 g/cm ³	0,44 g/cm ³
Porositas	94,10%	94,34%	94,74%	95,45%	96,12%
Sineresis	34,57%	34,80%	35,37%	36,55%	37,94%

Diameter yang besar menunjukkan kemampuan pembentukan *beads* yang optimal. *Beads* yang dihasilkan diketahui berukuran makro yang memiliki kapasitas muatan yang lebih tinggi yang cocok digunakan dalam enkapsulasi produk pertanian (Rohman *et al.*, 2021). Nilai sperikal faktor yang

mendekati nol menunjukkan bentuk *beads* yang semakin mendekati bulat sempurna (Chan *et al.*, 2009). Bentuk bulat ini menandakan keseragaman *beads*.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa penambahan pati mempengaruhi karakterisasi fisik beads. Perlakuan terbaik berdasarkan karakterisasi fisik beads terbaik yaitu perlakuan C (penambahan 2% pati bengkung) dengan karakteristik fisik yaitu diameter $4,57 \pm 0,03$ mm, berbentuk bulat dengan sperikal faktor $0,02 \pm 0,00^a$, densitas $0,73 \pm 0,08$ g/cm³, porositas $94,74 \pm 0,16$ % dan sineresis $35,37 \pm 0,21$ %. Temuan ini mengindikasikan potensi pati bengkung dalam meningkatkan kualitas fisik beads berbasis natrium alginat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Universitas Andalas yang telah mendanai penelitian ini sesuai dengan kontrak penelitian skripsi sarjana (PSS) Batch 1 Nomor : 252/UN16.19/PT.01.03/PSS/202 Tahun anggaran 2025.

DAFTAR PUSTAKA

- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 1994. *Tepung Tapioka*. SNI 01-3451-1994. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
- [SNI] Standar Nasional Indonesia. 2011. *Tepung Tapioka*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia. 2018. *Tepung Terigu*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- [SNI] Standar Nasional Indonesia. 1995. *Tepung (Pati) Sagu*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- Aarstad O A, Tondervik A, Sletta H, Skjak-Braek G. 2012. Alginate sequencing: an analysis of block distribution in alginates using specific alginate degrading enzymes. *Biomacromolecules*. 131:106-116.
- Ahmadzadeh, S., dan Ubeyitogullari, A. 2022. Fabrication of Porous Spherical *Beads* from Corn Starch by Using a 3D Food Printing System. *Foods*, 11(7).
- Arnata, I. W. 2020. Desain Proses Isolasi dan Aplikasi Nanokristalin Selulosa dari Frond Sagu Sebagai Serat Penguat Untuk Bead Komposit Adsorben Pewarna. [Disertasi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Asben, A., Permata, D. A., Rahmi, I. D., dan Fiana, R. M. 2018. Pemanfaatan Bengkung (*Pachyrhizus erosus*) Afkir untuk Pembuatan Bedak Dingin pada Kelompok Wanita Tani Berkat Yakin Kec. Batang Anai Kab. Padang Pariaman. *LOGISTA-Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*, 2(1), 37-47.
- Ascheri, JLR, Luz Hayde BZ, Carlos WPC, Arturo MA, Lais MF. 2014. Extraction and Characterization of Starch Fractions of Five Phenotypes *Pachyrhizus tuberosus* (Lam.) Spreng.
- Chan E.S. 2011. Preparation of Ca-Alginat *Beads* Containing High Oil Content: Influence of Process Variabels on Encapsulation Efficiency and Bead Properties. *Carbohydr Polym* 84:1267–1275.
- Chan E.S., Lee, B.B., Ravindra, P., dan Poncelet, D. 2009. Prediction Models for Shape and Size of Ca-Alginat Macro*Beads* Produced Through Extrusion Dripping Method. *J Colloid Interface Sci* 338(1):63–72.
- Daemi H, Barikani M. 2012. Synthesis and Characterization of Calcium Alginate Nanoparticles, Sodium Homopolymannuronate Salt and its Calcium Nanoparticles. *Scientia Iranica*. 19(6):2023-2028.
- Dixit M, Srivastava RK. 2018. Effect of Compaction Pressure on Microstructure, Density and Hardness of Copper Prepared by Powder Metallurgy Route. IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*. 377:012209.

- Figueroa, K. J., Villabona, Á. dan Ortega, R. 2024. Sustainable Starch-Based Films from Cereals and Tubers : *A Comparative Study on Cherry Tomato Preservation*. 1–15.
- Feltre, G., Almeida, F. S., Sato, A. C. K., Dacanal, G. C., dan Hubinger, M. D. 2020. Alginate and Corn Starch Mixed Gels: Effect of Gelatinization and Amylose Content on the Properties and in Vitro Digestibility. *Food Research International*.
- Hidayah, C. N. 2019. Sintesis dan Karakterisasi *Beads* Alginat-Selulosa Xantat dari Batang Jagung dengan Variasi Porogen NaCl. [Skripsi]. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Homayouni, A., Azizi, A., Ehsani, M.R., Yarmand, M.S., Razavi, S.H. 2008. Effect of Microencapsulation and Resistant Starch on the Probiotic Survival and Sensory Properties of Synbiotic Ice Cream. *Food Chemistry* 111(1):50-55.
- Indrian, S. 2024. Formulasi Sediaan Masker Geel Peel-Off Pati Bengkuang (*Pachyrhizus erosus*) dengan Penambahan Ekstrak Daun Ketumbar (*Coriandrum sativum*) dan Analisis BEP. [Skripsi]. Padang: Fakultas Teknologi Pertanian. Universitas Andalas.
- Kanasan N, Adzila S, AzimahMustaffa N, Gurubaran P. 2017. The Effect of Sodium Alginate on the Properties of Hydroxyapatite. *Procedia Eng.* 184:442- 448.
- Kim YJ, Park HG, Yang YL, Yoon Y, Kim S, Oh E. 2005. Multifunctional Drug Delivery System Using Starch-alginate Bead for Controlled Release. *Biol Pharmaceutical Bull.* 28(2):394-397.
- Kusuktham B, Prasertgul J, Srinun P. 2014. Morphology and Property of Calcium Silicate Encapsulated with Alginate Bead. *Silicon*. 6:191- 197.doi:10.1007/s12633-013-9173-z.
- Langobelen, A. A. 2023. Pengaruh Jarak Tanam dan Pemberian Pupuk Phospat Produksi Tanaman Bengkuang (*Pachyrhizus erosus* L.). [Skripsi]. Fakultas Pertanian. Universitas Borneo Tarakan.
- Li, D., Zhao, Y., Han, P., Yang, C., Liang, X., Li, L., dan Cai, S. 2018. Effect of Chitosan–Jicama Starch Coating on Changes in Qualities of Fresh Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets during ice storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 53(9), 2220–2228.
- Li, L., Zhao, J., Sun, Y., Yu, F., dan Ma, J. 2019. Ionically Cross-Linked Sodium Alginate/k-Carrageenan Double-Network Gel *Beads* With Low-Swelling, Enhanced Mechanical Properties, and Excellent Adsorption Performance. *Chemical Engineering Journal* 372:1091-1103.
- Mahardika, M. 2019. Pengembangan Bionanokomposit Berbahan Pati Bengkuang dengan Penguat *Cellulose Nanofibers (cnf)* Daun Nanas untuk Pembuatan Bioplastik pada Aplikasi Kemasan Makanan. [Disertasi]. Padang: Universitas Andalas.
- Martin, E., Poncelet, D., Rodrigues, R.C., dan Renard, D. 2017. Oil Encapsulation Techniques Using Alginate as Encapsulating Agent: Applications and Drawbacks. *Journal of Microencapsulation* 34(8): 754-771.
- Miskiyah, M., Juniawati, J., dan Widaningrum, W. 2020. Optimasi Pati-Alginat sebagai Bahan Pengkapsul Bakteri Probiotik terhadap Karakteristik *Beads*. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 9(1), 24.
- Nayak AK, Malakar J, Pal D, Hasnain MS, Beg S. 2018. Soluble Starch-blended Ca²⁺-Zn²⁺-alginate Composites-based Microparticles of Aceclofenac: Formulation development and in vitro characterization. *Future J Pharmaceutical Sci.* 4(1):63-70.
- Oh SY, Yoo DI, Shin Y, Seo G. 2005. FTIR Analysis of Cellulose Treated with Sodium Hydroxide and Carbon Dioxide. *Carbohydr Res.* 340:417– 428.
- Park M, Lee D, Hyun J. 2015. Nanocellulose-alginate hydrogel for cell encapsulation. *Carbohydr Polym.* 116:223 228.
- Puguan JMC, Yu X, Kim H. 2014. Characterization of structure, physico-chemical properties and diffusion behavior of Ca-Alginate gel bead prepared by different gelation methods. *J Coll Interface Sci.* 432:109-116.
- Puspitasari, S. 2017. Preparasi dan karakterisasi Komposit *Beads* Alginat-Selulosa dari Ampas Tebu melalui Metode Gelasi Ionik dengan CaCO₃ sebagai Porogen. [Skripsi]. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.

- Rahman, Hazyratul. 2018. Pembuatan Emulsi Minyak Sawit Merah yang Mengandung Ekstrak Etanol Buah Ara (*Ficus racemosa* L.). [Skripsi]. Medan: Fakultas Farmasi. Universitas Sumatera Utara.
- Rajmohan, D., and Bellmer, D. 2019. Characterization of Spirulina-Alginat *Beads* Formed Using Ionic Gelation, *Int.J. Food Sci.*
- Renault F, Morin-Crini N, Gimbert F, Badot PM dan Crini G. 2008. Cationized Starchbased Material as a New Ion-exchanger Adsorbent for the Removal of C.I. Acid Blue 25 from Aqueous Solutions. *Bioresour Technol.* 99:7573– 7586.
- Rohman, S., Kaewtatip, K., Kantachote, D., dan Tantirungkij, M. 2021. Encapsulation of Rhodopseudomonas Palustris KTSSR54 using *Beads* from Alginate/starch blends. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(12), 1–9.
- Sartika, Dewi. 2020. Rancangan Matriks Saset Antimikroba dari Bead Komposit Alginat-Selulosa Nanokristal untuk Slow-Release Senyawa Aktif Eugenol. [Disertasi]. Institut Pertanian Bogor.
- Shaari N, Kamarudin SK, Basri S, Shyuan LK, Masdar, MS, dan Nordin D. 2018. Enhanced Mechanical Flexibility and Performance of Sodium Alginate Polymer Electrolyte Bio- membrane for Application in Direct Methanol Fuel cell. *J App Polym Sci.* 135(37):1- 13.doi:10.1002/app.46666.
- Suharti, N., Orindia, S., dan Akmal, D. 2016. Karakterisasi Pati Umbi Bengkuang (*Pachyrhizus erosus* (L.)Urban). Fakultas Farmasi, Universitas Andalas, Padang.
- Syafri, E., Jamaluddin, Harmailis, Umar, S., Mahardika, M., Amelia, D., Mayerni, R., Mavinkere Rangappa, S., Siengchin, S., Sobahi, T. R., Khan, A., dan Asiri, A. M. 2022. Isolation and Characterization of New Cellulosic Microfibers from Pandan Duri (*Pandanus Tectorius*) for Sustainable Environment. *Journal of Natural Fibers*, 19(16), 12924–12934.
- Syahbanu, F., Napitupulu, F. I., Septiana, S., dan Aliyah, N. F. 2023. Struktur pati beras (*Oryza sativa* L.) dan mekanisme perubahannya pada fenomena gelatinisasi dan retrogradasi. 17(4), 755–767.
- Tong Z, Chen Y, Liu Y, Tong L, Chu J, Xiao K, Zhou Z, Dong W, Chu X. 2017. Preparation, Characterization and Properties of Alginate/Poly(γ -glutamic acid) composite microparticles. *Marine Drugs*. 15(4):1-14.
- Velings NM, Mestdagh,MM. 1995. Physico-chemical properties of alginat gel bead. *Polym Gels Networks*. 3(3):311–330.
- Wang Q, Hu X, Du Y, Kennedy JF. 2010. Alginate/starch blend fibers and their properties for drug controlled release. *Carbohydr Polym.* 82(3):842– 847.
- Wigati, L. P., Wardana, A. A., dan Tanaka, F. 2022. Characterization of Edible Film based on Yam Bean Starch, Calcium Propionate and Agarwood Bouya Essential Oil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1038(1).
- Winarno, F.G. 2004. Kimia Pangan dan Gizi. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Yongvanich N. 2015. Isolation of Nanocellulose From Pomelo Fruit Fibers by Chemical Treatments. *J Nat Fiber*. 12:323–331.
- Zulvianti, P. N., Lestari, P. M., dan Nining, N. 2022 . Review Komposit Pati–Kitosan: Perannya dalam Berbagai Sistem Penghantaran Obat. *Majalah Farmasetika*, 7(1), 18.
- Zhong, Y., Tai, L., Blennow, A., Ding, L., dan Herburger, K. (2022). High-amylose starch : Structure, Functionality and Applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 0(0), 1–23.