

Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan sesingkat mungkin. Dilarang menghapus/modifikasi template ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian meliputi data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

1. Pendahuluan

Penelitian tahun pertama ini bertujuan untuk mengembangkan metode enkapsulasi RBO (Rice Bran Oil) menggunakan berbagai kombinasi bahan pelapis seperti alginat, pati/alginat, karagenan/alginat, dan SPI/alginat. Selain itu, penelitian ini juga diarahkan untuk mengeksplorasi formulasi dan teknologi pembuatan bubur instan multigrain rice yang terdiri atas beras merah, jagung, sorgum, kedelai, dan edamame yang difortifikasi dengan enkapsulan RBO. Kegiatan penelitian tahap ini mencakup karakterisasi sifat fisik, kimia, sensoris, serta evaluasi kestabilan beads enkapsulan sehingga dapat diperoleh produk pangan fungsional yang lebih stabil dan efektif.

Penelitian ini merupakan tahap pertama dari roadmap penelitian dua tahap yang telah direncanakan. Hasil capaian pada tahun pertama akan menjadi dasar penting bagi tahap berikutnya, yaitu pengujian efek fisiologis secara *in vivo* terhadap bubur multigrain rice dengan enkapsulan RBO pada tikus Sprague Dawley untuk mengevaluasi peran hipoglikemik dan hipokolesterolemik. Dengan fokus pada pengembangan teknologi dasar berupa ekstraksi, enkapsulasi, dan formulasi produk bubur instan, kegiatan tahun pertama ini selaras dengan target peningkatan tingkat kesiapan teknologi (TKT) menuju level 3. Luaran utama yang diharapkan berupa data enkapsulasi yang terstandarisasi, prototipe bubur instan multigrain rice terfortifikasi, serta hasil uji karakterisasi yang dapat mendukung publikasi artikel ilmiah internasional bereputasi.

2. Hasil dan Pembahasan

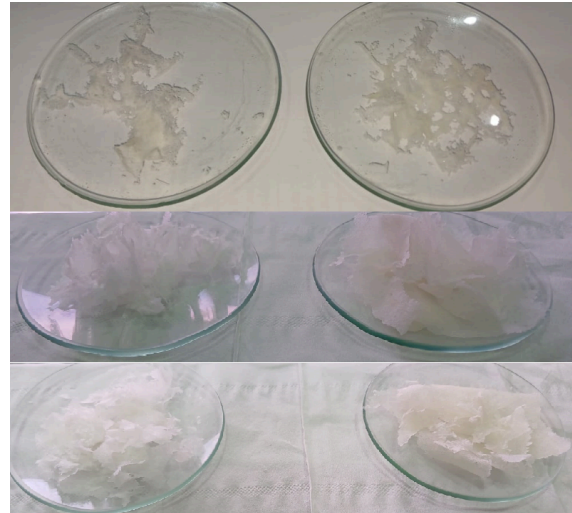
2.1 Mikroenkapsulasi RBO

Rice bran oil mengandung senyawa bioaktif penting seperti sterol, tocol, γ -oryzanol, dan asam lemak tak jenuh yang berpotensi digunakan sebagai bahan pengaya pangan. Namun, senyawa ini rentan mengalami degradasi oksidatif yang dapat mengubah sifat organoleptik produk. Untuk mengatasinya, teknik mikroenkapsulasi digunakan dengan cara melapisi tetesan minyak menggunakan enkapsulan sehingga terbentuk bubuk kering yang stabil, mudah ditangani, dan dapat diaplikasikan pada berbagai produk pangan. Proses ini melibatkan tahap pembentukan emulsi yang kemudian dikeringkan menjadi mikropartikel [1].

Gambar 1 memperlihatkan proses sintesis serta hasil mikroenkapsulan RBO menggunakan dinding enkapsulan berbahan alginat dengan variasi konsentrasi Tween 80. Sementara itu, Gambar 2 menampilkan hasil mikroenkapsulasi RBO dengan kombinasi bahan dinding berbeda, yaitu alginat/SPI, alginat/starch, dan alginat/karagenan, yang masing-masing dikombinasikan dengan variasi Tween 80 untuk membandingkan efektivitas perlindungan dan karakteristik mikropartikel yang terbentuk.

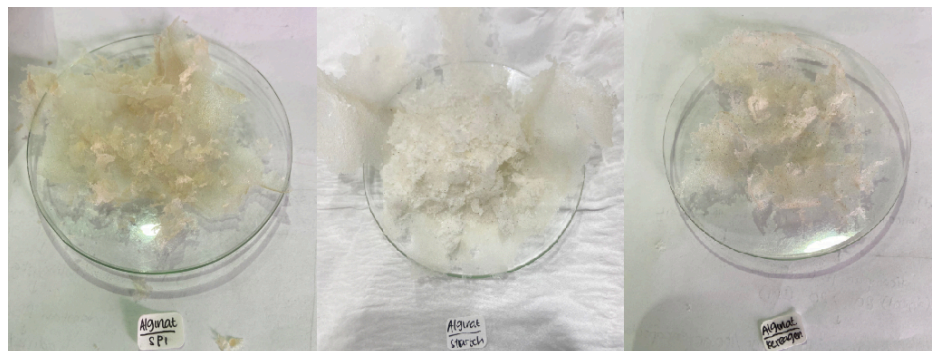


(a)



(b)

Gambar 1. (a) proses sintesis dan (b) hasil mikroenkapsulan RBO dengan dinding enkapsulan berbahan alginat pada variasi Tween 80



(a)

(b)

(c)

Gambar 2. Hasil mikroenkapsulan RBO dengan dinding enkapsulan berbahan (a) alginat/SPI, (b) alginat/starch dan (c) alginat karagenan pada variasi Tween 80

2.1.1 Data Efisiensi Enkapsulasi RBO dengan alginat dengan variasi perbandingan RBO dan surfaktan (Tween 80) dengan metode air drying

Bagian ini menyajikan data mengenai efisiensi enkapsulasi rice bran oil (RBO) menggunakan bahan dinding alginat dengan variasi perbandingan RBO dan surfaktan Tween 80 melalui metode air drying. Efisiensi enkapsulasi dihitung untuk mengetahui seberapa besar senyawa bioaktif dalam minyak yang dapat terperangkap di dalam matriks enkapsulan, sehingga stabilitas produk dapat dipertahankan. Gambar 3 menunjukkan proses pengujian efisiensi enkapsulasi, sedangkan Tabel 1 menampilkan hasil pengukuran persentase efisiensi pada beberapa variasi perbandingan RBO dan Tween 80. Dari tabel terlihat bahwa nilai efisiensi bervariasi pada setiap perlakuan, menunjukkan adanya pengaruh penambahan surfaktan

Tween80 dalam membentuk mikropartikel yang stabil yang tercermin dalam nilai efisiensi enkapsulasi.



Gambar 3. Proses pengujian efisiensi enkapsulasi

Tabel 1. Data Efisiensi Enkapsulasi

RBO : Tween80	Efisiensi Enkapsulasi (%)
1:4	1.17
1:2	9.56
3:4	3.9
1:1	18.50
5:4	17.25

2.1.2 Data Efisiensi Enkapsulasi RBO dengan variasi enkapsulan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa efisiensi enkapsulasi Rice Bran Oil (RBO) sangat dipengaruhi oleh penggunaan surfaktan dan komposisi bahan pelapis (wall material). Secara umum, penambahan surfaktan Tween 80 dan kombinasi alginat dengan biopolimer lain (pati, SPI, dan karagenan) secara signifikan meningkatkan kemampuan matriks dalam memerangkap minyak. Kombinasi alginat/karagenan dengan penambahan Tween 80 menunjukkan efisiensi enkapsulasi tertinggi, mencapai 53,74%.

Tabel 2 menyajikan data efisiensi enkapsulasi RBO menggunakan variasi bahan dinding (enkapsulan) baik tunggal maupun kombinasi, dengan dan tanpa penambahan surfaktan Tween 80. Data ini memperlihatkan peran penting jenis biopolimer dalam membentuk matriks yang mampu menjerat minyak secara optimal. Perbedaan nilai efisiensi pada tiap formulasi menunjukkan adanya variasi interaksi antara alginat dengan bahan tambahan lain seperti SPI, pati, dan karagenan. Penambahan Tween 80 secara konsisten

meningkatkan efisiensi pada semua kombinasi, yang mengindikasikan peran surfaktan dalam menstabilkan emulsi sebelum proses pengeringan

Tabel 2. Data Efisiensi Enkapsulasi

RBO : Tween80	Efisiensi Enkapsulasi (%)
Alginat	1,00
Alginat + Tween 80	18,50
Alginat/SPI	4,68
Alginat/SPI + Tween 80	26,48
Alginat/Pati	13,75
Alginat/Pati + Tween 80	19,71
Alginat/Karagenan	38,84
Alginat/Karagenan + Tween 80	53,74

2.1.3 Pengaruh Surfaktan (Tween 80) terhadap Efisiensi Enkapsulasi

Data pada Tabel 1 dan 2 secara konsisten menunjukkan peran krusial Tween 80 dalam meningkatkan efisiensi enkapsulasi. Sebagai contoh, penggunaan alginat saja hanya menghasilkan efisiensi 1,00%, namun melonjak menjadi 18,50% setelah penambahan Tween 80. Peningkatan drastis ini dapat dijelaskan oleh fungsi utama Tween 80 sebagai agen pengemulsi atau surfaktan.

Pembentukan emulsi yang stabil adalah tahap kritis pertama dalam proses enkapsulasi minyak [1]. Tween 80, sebagai surfaktan non-ionik, bekerja dengan menurunkan tegangan antarmuka antara fasa minyak (RBO) dan fasa air (larutan alginat). Hal ini memfasilitasi pembentukan tetesan-tetesan minyak yang lebih kecil dan seragam selama proses homogenisasi. Emulsi dengan ukuran tetesan yang lebih kecil cenderung lebih stabil dan tidak mudah mengalami koalesensi (penggabungan kembali). Kestabilan emulsi ini memastikan bahwa tetesan minyak tetap terdispersi secara merata saat proses gelasi alginat berlangsung, sehingga lebih banyak minyak yang berhasil terperangkap di dalam matriks [2].

Analisis data pada Tabel 1 menunjukkan adanya titik optimal pada perbandingan RBO:Tween 80, yaitu rasio 1:1 yang memberikan efisiensi tertinggi (18,50%). Penggunaan surfaktan yang kurang dari rasio optimal (misalnya, 1:2 atau 3:4) kemungkinan tidak cukup untuk menstabilkan seluruh permukaan tetesan minyak yang terbentuk, sehingga efisiensi menurun. Sebaliknya, konsentrasi surfaktan yang berlebihan (rasio 1:4) justru menurunkan efisiensi secara drastis (1,17%). Fenomena ini bisa jadi disebabkan oleh pembentukan misel oleh surfaktan yang berlebih, yang dapat mengganggu interaksi antara polimer alginat atau melemahkan integritas struktural dari cangkang enkapsulan yang terbentuk [2].

2.1.4 Efek Sinergis Kombinasi Biopolimer sebagai Bahan Pelapis

Hasil penelitian juga membuktikan bahwa menggabungkan alginat dengan biopolimer lain secara signifikan lebih efektif dibandingkan menggunakan alginat tunggal. Strategi penggunaan campuran biopolimer ini bertujuan untuk menciptakan matriks yang lebih padat, kuat, dan tidak berpori, sehingga mampu menahan minyak inti dengan lebih baik[3].

1. Alginat/Pati: Pati berfungsi sebagai bahan pengisi yang dapat meningkatkan kepadatan dan kekuatan mekanis dari matriks alginat. Peningkatan efisiensi dari 1,00% (alginat saja) menjadi 13,75% menunjukkan bahwa pati membantu mengurangi porositas matriks, sehingga kebocoran minyak dapat diminimalkan.

2. Alginat/SPI (Soy Protein Isolate): Protein seperti SPI memiliki kemampuan sebagai pengemulsi alami. Kombinasinya dengan polisakarida seperti alginat dapat membentuk kompleks protein-polisakarida yang sangat stabil di antarmuka minyak-air. Lapisan ini memberikan perlindungan ganda: stabilisasi emulsi oleh protein dan pembentukan matriks gel oleh alginat. Hal ini menjelaskan mengapa efisiensi enkapsulasi pada formula Alginat/SPI + Tween 80 (26,48%) lebih tinggi dibandingkan Alginat/Pati + Tween 80 (19,71%). Penelitian oleh [1] juga menyoroti peran penting protein dalam menciptakan emulsi RBO yang stabil untuk enkapsulasi.
3. Alginat/Karagenan: Kombinasi ini memberikan hasil terbaik (38,84% tanpa Tween 80 dan 53,74% dengan Tween 80). Baik alginat maupun karagenan merupakan polisakarida anionik yang mampu membentuk gel yang kuat melalui ikatan ionik dengan kation divalen (seperti Ca^{2+}). Penggunaan keduanya secara bersamaan kemungkinan besar menciptakan jaringan polimer yang saling menembus (*interpenetrating polymer network*), menghasilkan struktur tiga dimensi yang sangat rapat dan efektif dalam memerangkap tetesan minyak. Sifat kimia yang serupa memungkinkan kedua polimer ini berinteraksi secara harmonis untuk membentuk matriks yang superior. Kelayakan penggunaan karagenan untuk enkapsulasi RBO telah didemonstrasikan dalam penelitian sebelumnya [4].

Nilai efisiensi enkapsulasi yang diperoleh dalam penelitian ini, khususnya pada formula terbaik (53,74%), sejalan dengan temuan-temuan dalam literatur. Sebagai perbandingan, [5] melaporkan efisiensi enkapsulasi RBO mencapai 48,22% menggunakan metode koaservasi kompleks dengan sistem karagenan-kitosan. Sementara itu, [1] melaporkan efisiensi sekitar 53% menggunakan metode pengeringan berbasis CO_2 superkritis. Hal ini menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh dalam penelitian ini kompetitif dan valid secara ilmiah.

Penggunaan alginat sebagai bahan pelapis utama telah banyak dilaporkan. [6] dan [7] berhasil menggunakan alginat untuk menyalut berbagai jenis minyak, dan menekankan bahwa parameter seperti konsentrasi polimer dan jumlah bahan inti sangat mempengaruhi efisiensi. Lebih lanjut, strategi untuk memperbaiki matriks alginat dengan biopolimer lain juga telah terbukti efektif. [8], misalnya, menemukan bahwa rasio antara alginat dan gelatin secara signifikan mempengaruhi efisiensi enkapsulasi minyak cengkeh, yang paralel dengan temuan penelitian ini mengenai pengaruh kombinasi alginat dengan pati, SPI, dan karagenan.

2.1.5 Pengujian Kestabilan Emulsi antara Rice Bran Oil dengan Alginat dengan keberadaan Tween 80 dan Tween 20

Persiapan emulsi yang stabil antara bahan inti (core material) berupa rice bran oil (RBO) dengan bahan penyalut (wall material) seperti alginat merupakan tahapan krusial sebelum proses mikroenkapsulasi. Kestabilan emulsi menjadi parameter kunci karena secara langsung mempengaruhi efisiensi enkapsulasi dan keseragaman mikrokapsul yang dihasilkan. Untuk mencapai kestabilan ini, seringkali ditambahkan agen pengemulsi (emulsifier) seperti Tween 80 (Polisorbat 80) yang berfungsi menurunkan tegangan antarmuka antara fase minyak (RBO) dan fase air (larutan alginat), sehingga menjaga dispersi yang merata dan mencegah pemisahan fase [9]. Salah satu metode kuantitatif untuk mengevaluasi kestabilan emulsi secara fisik adalah melalui pengukuran indeks pemisahan krim atau *creaming index*. Indeks ini mengukur tingkat pemisahan emulsi akibat perbedaan densitas, di mana fase minyak yang lebih ringan akan bergerak ke atas membentuk lapisan krim. Nilai *creaming index* yang rendah menunjukkan bahwa emulsi memiliki kestabilan yang tinggi, karena hanya sedikit fase minyak yang terpisah dari sistem emulsi, yang mengindikasikan bahwa formulasi pengemulsi yang digunakan sudah efektif). Gambar 4 menampilkan proses pengujian

kestabilan emulsi antara RBO dan alginat dengan penambahan Tween 80 maupun Tween 20. Visualisasi ini memberikan gambaran mengenai tahapan analisis yang digunakan untuk menentukan nilai creaming index, sehingga dapat dievaluasi efektivitas emulsifier dalam mempertahankan kestabilan dispersi minyak di dalam sistem. Uji kestabilan emulsi antara RBO dan alginat dengan penambahan Tween 20 maupun Tween 80 telah dilakukan. Saat ini data kuantitatif berupa nilai creaming index masih dalam tahap analisis, sehingga pada bagian ini hanya ditampilkan tahapan proses pengujian sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Proses pengujian kestabilan emulsi

2.1.6 Pengujian Karakteristik Mikroenkapsulan Rice Bran Oil

Setelah proses mikroenkapsulasi selesai, serangkaian pengujian karakterisasi mutlak diperlukan untuk mengevaluasi kualitas dan fungsionalitas mikrokapsul yang dihasilkan. Pengujian ini penting untuk memastikan tercapainya tujuan utama enkapsulasi, yakni melindungi senyawa bioaktif berharga dalam rice bran oil (RBO), seperti γ -oryzanol, dari kerusakan akibat oksidasi, panas, atau paparan cahaya, sekaligus mengubah bentuk minyak dari cair menjadi bubuk agar lebih mudah diaplikasikan dalam berbagai produk [4], [10]. Karakterisasi ini akan meliputi evaluasi efisiensi enkapsulasi untuk mengetahui seberapa banyak minyak yang berhasil tersalut, serta analisis morfologi menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk mengamati bentuk dan struktur permukaan mikrokapsul[1]). Permukaan yang halus dan tanpa retakan mengindikasikan perlindungan inti yang optimal. Lebih lanjut, untuk memastikan integritas senyawa bioaktif tetap terjaga setelah proses, pengujian komposisi kimia seperti Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) menjadi sangat relevan. Pengujian ini dapat mengidentifikasi dan mengkuantifikasi komponen-komponen penting dalam RBO, sehingga dapat memverifikasi bahwa senyawa-senyawa fungsional tidak mengalami degradasi selama proses enkapsulasi [10]. GC-MS memastikan bahwa komponen berharga dalam RBO tetap terjaga integritasnya di

dalam mikrokapsul. Selain itu, pengujian dengan metode Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) akan digunakan untuk mengonfirmasi keberhasilan enkapsulasi dengan mengidentifikasi gugus fungsi khas dari bahan inti (RBO) dan bahan penyalut dalam struktur mikrokapsul. Spektrum FTIR dapat menunjukkan interaksi kimia antara kedua komponen tersebut.

2.1.7 Pembuatan Multigrain Rice Porridge terfortifikasi Mikroenkapsulan Rice Bran Oil

Pembuatan multigrain rice atau nasi multi biji merupakan proses penggabungan berbagai jenis sereal dan kacang-kacangan untuk menciptakan makanan pokok yang kaya akan serat pangan dan protein nabati. Proses ini dimulai dengan pemilihan bahan baku seperti sorgum, beras merah, jagung, dan edamame. Untuk menghasilkan produk instan, bahan-bahan tersebut melalui beberapa tahapan pengolahan, meliputi pencucian, perendaman, pengukusan selama 25 menit untuk gelatinisasi pati, pembekuan selama 24 jam, pencairan (thawing) selama 4 jam, dan diakhiri dengan pengeringan menggunakan food dehydrator pada suhu 75-80°C selama 60-90 menit untuk menghasilkan produk nasi multi biji instan yang siap untuk difortifikasi [11]. Perbedaan multigrain rice instan dengan multigrain rice porridge adalah pada ukuran flakesnya. Multigrain rice porridge dimodifikasi menjadi bentuk yang lebih kecil.

Fortifikasi dilakukan untuk meningkatkan nilai gizi dengan menambahkan senyawa bioaktif, dalam hal ini adalah rice bran oil. Namun, senyawa bioaktif rentan mengalami degradasi akibat panas, cahaya, dan oksidasi. Untuk melindunginya, digunakan teknologi mikrokapsulasi, yaitu proses penyalutan bahan inti (minyak bekatul) dengan bahan pelindung (coating). Metode ini membungkus komponen bioaktif dalam kapsul berukuran mikro (1-1000 μm), sehingga menjaganya dari kerusakan dan memastikan nutrisinya tetap terjaga. Berbagai teknik seperti air drying, spray drying, maupun freeze drying dapat digunakan untuk mendispersikan partikel minyak dalam matriks pelindung yang terdiri dari bahan seperti polisakarida atau protein [3]. Penambahan mikrokapsulan rice bran oil ke dalam multigrain rice instan menghasilkan produk pangan fungsional yang unggul. Selain menyediakan karbohidrat kompleks, serat, dan protein dari campuran sereal, produk ini juga diperkaya dengan manfaat kesehatan dari rice bran oil tanpa mengubah sifat sensorik secara signifikan[11]). Keunggulan utama dari mikrokapsulasi adalah kemampuannya untuk mengontrol pelepasan zat aktif [12].

Berbagai bahan baku yang digunakan dalam pembuatan multigrain rice porridge, meliputi sereal dan kacang-kacangan seperti sorgum, beras merah, jagung, serta edamame yang dipilih karena kandungan serat dan protein nabatinya yang tinggi, ditunjukkan pada gambar 5. Sedangkan produk akhir berupa multigrain rice porridge ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 5. Bahan baku multigrain rice porridge



Gambar 6. Multigrain Rice porridge

2.1.8 Pengujian Multigrain Rice terfortifikasi Mikroenkapsulan Rice Bran Oil

Multigrain rice porridge telah berhasil dikembangkan, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 6. Multigrain rice porridge tersebut difortifikasi dengan mikroenkapsulan RBO dan akan dilakukan pengujian lebih lanjut meliputi analisis fisik, kimia, organoleptik. Data hasil uji tersebut akan dipaparkan secara lebih rinci pada tahap penelitian selanjutnya.

2.1.8.1 Pengujian sifat fisik

Evaluasi karakteristik fisik difokuskan pada kualitas masak dan sifat tekstural bubur nasi multigrain. Pengujian ini meliputi penentuan waktu memasak optimum, kemampuan penyerapan air, dan jumlah padatan yang hilang selama perebusan, yang merupakan indikator penting dari kualitas produk. Selain itu, parameter fisik seperti diameter partikel, warna (dianalisis secara kuantitatif menggunakan colorimeter), dan kekerasan (*firmness*) bubur matang diukur secara instrumental menggunakan texture analyzer. Untuk memahami perubahan struktural pada level mikroskopis, analisis mikrostruktur penampang bubur nasi multigrain juga diamati menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM).

2.1.8.2 Pengujian sifat kimia

Dari sisi kimia, analisis mendalam dilakukan untuk mengetahui komposisi gizi dan kandungan senyawa bioaktif. Ini mencakup analisis proksimat untuk menentukan kadar komponen dasar seperti protein, serat pangan, kadar air, dan kadar abu. Komposisi lipid, termasuk profil asam lemak, fitosterol, dan squalene, dianalisis secara rinci menggunakan Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). Terakhir, potensi fungsional produk dinilai melalui uji aktivitas antioksidan menggunakan metode DPPH.

2.1.8.3 Pengujian organoleptik

Untuk melengkapi data instrumental, dilakukan evaluasi sensorik yang berfokus pada persepsi alat indera manusia terhadap daya terima produk. Pengujian ini melibatkan panelis semi terlatih yang secara sistematis menilai atribut tekstur utama bubur nasi multigrain saat dikonsumsi. Atribut yang dinilai meliputi tingkat kelengketan antar partikel (*bulkiness*), kelengketan pada permukaan (*stickiness*), dan kekerasan saat dikunyah (*strengthness*). Analisis ini memberikan gambaran penting mengenai kualitas makan dan potensi penerimaan konsumen terhadap bubur nasi multigrain fungsional yang dihasilkan. Selain itu juga dilaksanakan uji kesukaan atau uji hedonik berdasar warna, rasa, aroma, dan tekstur untuk potensi penerimaan konsumen terhadap bubur nasi multigrain fungsional yang dihasilkan.

3. Kelebihan dan Keterbatasan Temuan

Kelebihan utama dari penelitian ini adalah perbandingan sistematis yang berhasil mengidentifikasi kombinasi enkapsulan paling efektif (alginat/karagenan) dan mengkonfirmasi peran vital surfaktan dalam sistem enkapsulasi berbasis gelasi ionik. Data ini memberikan landasan yang kuat untuk pengembangan produk pangan fungsional, seperti bubur instan yang akan difortifikasi.

Namun, terdapat keterbatasan yang perlu diperhatikan. Metode pengeringan yang digunakan (air drying) merupakan metode yang sederhana, namun cenderung lambat dan dapat menyebabkan penyusutan struktur serta migrasi minyak ke permukaan, yang berpotensi menurunkan efisiensi enkapsulasi. Metode pengeringan yang lebih canggih seperti pengeringan semprot (spray-drying) atau pengeringan beku (freeze-drying) umumnya menghasilkan mikrokapsul berbentuk bubuk yang lebih stabil dengan efisiensi yang lebih tinggi [13]. Oleh karena itu, nilai efisiensi yang dilaporkan mungkin dapat ditingkatkan lebih lanjut dengan optimasi metode pengeringan.

Ke depan, penelitian lanjutan harus berfokus pada pengujian stabilitas oksidatif RBO yang terenkapsulasi selama penyimpanan. Pada akhirnya, formula enkapsulan terbaik akan diaplikasikan pada produk bubur instan multigrain, sejalan dengan tujuan utama untuk menciptakan produk pangan fungsional yang diperkaya dengan senyawa bioaktif dari RBO [10]

4. Penutup

4.1 Kesimpulan Hasil Penelitian

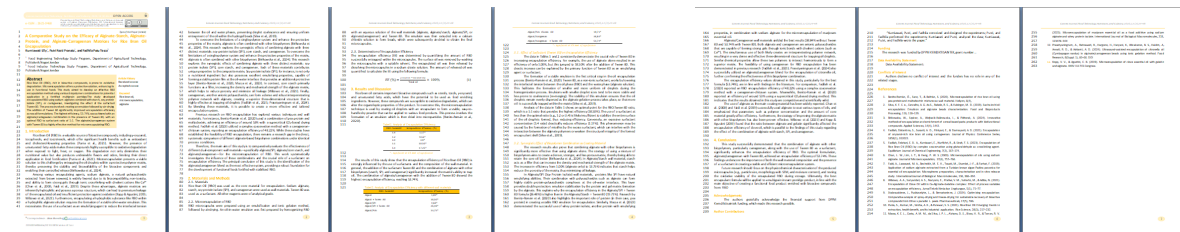
Penelitian pada tahap ini berhasil menyimpulkan bahwa metode enkapsulasi Rice Bran Oil (RBO) paling efektif dicapai dengan menggunakan kombinasi biopolimer alginat/karagenan yang ditambahkan surfaktan Tween 80. Formula ini menunjukkan efisiensi enkapsulasi tertinggi, yaitu sebesar 53,74%. Hasil ini secara konsisten membuktikan bahwa penggunaan surfaktan untuk menstabilkan emulsi dan kombinasi biopolimer untuk menciptakan matriks yang lebih rapat adalah faktor kunci dalam meningkatkan kemampuan enkapsulan untuk memerangkap RBO secara optimal. Sementara itu, analisis lebih lanjut terkait kestabilan emulsi dan karakterisasi mikroenkapsulan (SEM, GC-MS, dan FTIR) serta uji karakteristik multigrain rice porridge terfortifikasi RBO masih dalam tahap pengerjaan, sehingga interpretasi mendalam akan dipaparkan pada laporan penelitian akhir.

4.2 Relevansi dengan Target Akhir

Capaian ini sangat relevan dan menjadi fondasi krusial bagi target akhir penelitian. Dengan ditemukannya formula enkapsulan yang paling efektif, tujuan utama penelitian tahap pertama untuk mengembangkan dan menstandarisasi teknologi enkapsulasi RBO telah terpenuhi. Data ini secara langsung mendukung pengembangan prototipe bubur instan multigrain yang difortifikasi, sejalan dengan target peningkatan Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT) menuju level 3. Formula terpilih ini akan menjadi dasar bagi penelitian selanjutnya.

D. STATUS LUARAN: Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan. Jenis luaran dapat berupa publikasi, perolehan kekayaan intelektual, atau luaran lainnya yang telah dijanjikan pada proposal. Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran sesuai dengan luaran yang dijanjikan. Lengkapi isian jenis luaran yang dijanjikan serta mengunggah bukti dokumen ketercapaian luaran melalui BIMA.

Luaran wajib dari penelitian ini, yaitu pembuatan artikel publikasi pada jurnal internasional terindeks, telah berhasil dicapai. Capaian ini diwujudkan dalam bentuk draft manuskrip yang telah disiapkan untuk di-submit ke *Canrea Journal: Food Technology, Nutritions, and Culinary*. Draf publikasi yang akan diserahkan berjudul "*A Comparative Study on the Efficacy of Alginate-Based Matrices for Rice Bran Oil Encapsulation*". Draf publikasi tersebut, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, memuat hasil-hasil utama dari penelitian mengenai efektivitas berbagai kombinasi enkapsulan untuk minyak bekatul (RBO) dan telah disusun sesuai dengan format yang dipersyaratkan oleh jurnal tujuan.



Gambar 7. Draft publikasi pada *Canrea Journal: Food Technology, Nutritions, and Culinary*

E. PERAN MITRA: Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* serta mengunggah bukti dokumen pendukung sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra dapat diunggah melalui BIMA.

Catatan:

Bagian ini wajib diisi untuk penelitian terapan, untuk penelitian dasar (KATALIS, Fundamental, Pascasarjana, dan Dosen Pemula) boleh mengisi bagian ini (tidak wajib) jika melibatkan mitra dalam pelaksanaan penelitiannya

Penelitian ini tidak melibatkan mitra.

F. KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan, termasuk penjelasan jika pelaksanaan penelitian dan luaran penelitian tidak sesuai dengan yang direncanakan atau dijanjikan.

Kendala utama yang dihadapi selama pelaksanaan penelitian ini terkait dengan metode pengeringan mikrokapsul. Metode pengeringan udara (air-drying) yang digunakan, meskipun sederhana, memiliki beberapa kelemahan yang mempengaruhi hasil. Prosesnya yang cenderung lambat dapat menyebabkan penyusutan struktur dan migrasi minyak (RBO) ke permukaan, yang berpotensi menurunkan efisiensi enkapsulasi secara keseluruhan. Selain itu, sulitnya mengontrol proses crosslinking lanjutan antara CaCl_2 dan alginat selama pengeringan terkadang menyebabkan aglomerasi atau terbentuknya mikrokapsul dengan ukuran yang tidak seragam. Hal ini mengharuskan adanya tahap pengecilan ukuran pasca-pengeringan, di mana proses mekanis tersebut berisiko merusak integritas sebagian mikrokapsul, sehingga dapat mengurangi kestabilan serta efisiensi enkapsulasi RBO yang terperangkap. Meskipun luaran yang dijanjikan berhasil dicapai, kendala teknis pada tahap pengeringan ini merupakan faktor pembatas yang perlu diperbaiki pada tahap selanjutnya, misalnya dengan menggunakan metode spray-drying atau freeze-drying.

G. RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA: Tuliskan dan uraikan rencana penelitian selanjutnya berdasarkan indikator luaran yang telah dicapai, rencana realisasi luaran wajib yang dijanjikan dan tambahan (jika ada) di tahun berikutnya serta *roadmap* penelitian keseluruhan. Pada bagian ini diperbolehkan untuk melengkapi penjelasan dari setiap tahapan dalam metoda yang akan direncanakan termasuk jadwal berkaitan dengan strategi untuk mencapai luaran seperti yang telah dijanjikan dalam proposal. Jika diperlukan, penjelasan dapat juga dilengkapi dengan gambar, tabel, diagram, serta pustaka yang relevan. Jika laporan kemajuan merupakan laporan pelaksanaan tahun terakhir, pada bagian ini dapat dituliskan rencana penyelesaian target yang belum tercapai.

Rencana tindak lanjut akan berfokus pada dua kegiatan utama. Pertama, melakukan karakterisasi fisikokimia dan uji stabilitas oksidatif terhadap mikrokapsul RBO yang dihasilkan dari formula terbaik (alginat/karagenan + Tween 80). Kedua, mengaplikasikan mikrokapsul tersebut untuk memformulasi dan membuat prototipe bubur instan multigrain. Setelah prototipe produk pangan fungsional ini berhasil dibuat, penelitian pada tahun kedua akan dilanjutkan dengan pengujian efek fisiologis secara *in vivo* pada tikus Sprague Dawley untuk mengevaluasi potensi hipoglikemik dan hipokolesterolemiknya, sesuai dengan *roadmap* penelitian yang telah direncanakan.

H. DAFTAR PUSTAKA: Penyusunan Daftar Pustaka berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan kemajuan yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

- [1] Ó. Benito-Román, T. Sanz, and S. Beltrán, "Microencapsulation of rice bran oil using pea protein and maltodextrin mixtures as wall material," *Heliyon*, vol. 6, no. 4, p. e03615, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e03615.
- [2] K. F. C. E. Silva, A. G. Da Silva Carvalho, R. S. Rabelo, and M. D. Hubinger, "Sacha inchi oil encapsulation: Emulsion and alginate beads characterization," *Food Bioprod. Process.*, vol. 116, pp. 118–129, July 2019, doi: 10.1016/j.fbp.2019.05.001.
- [3] W. Bińkowska, A. Szpicer, I. Wojtasik-Kalinowska, and A. Półtorak, "Innovative Methods of Encapsulation and Enrichment of Cereal-Based Pasta Products with Biofunctional Compounds," *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 4, p. 1442, Feb. 2024, doi: 10.3390/app14041442.
- [4] Fadilah, S. Distantina, A. D. Susanti, L. G. A. Damara, and G. H. Mawarni, "Encapsulation of oryzanol-rich rice bran oil using carrageenan," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1858, no. 1, p. 012022, Apr. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1858/1/012022.
- [5] F. Fadilah, E. D. A. Febriani, E. Kurniasari, R. Nurfikhri, and T. S. Sirait, "Encapsulation of Rice Bran Oil (RBO) by Complex Coacervation Using Glutaraldehyde as Crosslinking Agent," *Equilib. J. Chem. Eng.*, vol. 7, no. 2, p. 167, Oct. 2023, doi: 10.20961/equilibrium.v7i2.77651.
- [6] L. W. Chan, L. T. Lim, and P. W. S. Heng, "Microencapsulation of oils using sodium alginate," 2019.
- [7] A. Faidi, M. A. Lassoued, M. E. H. Becheikh, M. Touati, J.-F. Stumbé, and F. Farhat, "Application of sodium alginate extracted from a Tunisian brown algae *Padina pavonica* for essential oil encapsulation: Microspheres preparation, characterization and *in vitro* release study," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 136, pp. 386–394, Sept. 2019, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.06.023.
- [8] A. A. Wibowo, A. S. Suryandari, E. Naryono, V. M. Pratiwi, M. Suharto, and N. Adiba, "Encapsulation of Clove Oil within Ca-Alginate-Gelatine Complex: Effect of Process

Variables on Encapsulation Efficiency,” *J. Tek. Kim. Dan Lingkungan*, vol. 5, no. 1, pp. 71–77, Apr. 2021, doi: 10.33795/jtkl.v5i1.214.

- [9] J. Baranauskaite, M. A. Ockun, B. Uner, C. Tas, and L. Ivanauskas, “Effect of the Amount of Polysorbate 80 and Oregano Essential Oil on the Emulsion Stability and Characterization Properties of Sodium Alginate Microcapsules,” *Molecules*, vol. 26, no. 20, p. 6304, Oct. 2021, doi: 10.3390/molecules26206304.
- [10] S. Punia, M. Kumar, A. K. Siroha, and S. S. Purewal, “Rice Bran Oil: Emerging Trends in Extraction, Health Benefit, and Its Industrial Application,” *Rice Sci.*, vol. 28, no. 3, pp. 217–232, May 2021, doi: 10.1016/j.rsci.2021.04.002.
- [11] E. Kurniawati, R. P. Putri, and A. Wahyono, “Formulation of Instant Multigrain Rice Enriched with High Levels of Dietary Fiber and Protein,” presented at the The 6th International Conference on Food Technology and Agriculture, Surabaya, 2024.
- [12] E. Kurniawati, R. P. Putri, A. Wahyono, S. O. N. Yudiastuti, and C. P. Pinandita, “Characteristic and prebiotic index of instant multigrain rice,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1446, no. 1, p. 012025, Jan. 2025, doi: 10.1088/1755-1315/1446/1/012025.
- [13] J. Stabrauskiene, L. Pudziuvelyte, and J. Bernatoniene, “Optimizing Encapsulation: Comparative Analysis of Spray-Drying and Freeze-Drying for Sustainable Recovery of Bioactive Compounds from Citrus x paradisi L. Peels,” *Pharmaceuticals*, vol. 17, no. 5, p. 596, May 2024, doi: 10.3390/ph17050596.