

## Stability of Encapsulated Vitamin C in Modified Cassava Flour (MOCAF)-Based Composite Noodles

Resti Pranata Putri<sup>1\*</sup>, Nadiyah Zuhroh<sup>1</sup>, Nadhifah Al Indis<sup>2</sup>, Annisa'u Choirun<sup>1</sup>, Amellia Dwi Rizkyana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknologi Rekayasa Pangan, Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember, Jember, Indonesia;

<sup>2</sup>Program Studi Teknologi Industri Pangan, Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember, Jember, Indonesia;

### Article History

Received : May 07<sup>th</sup>, 2026

Revised : July 02<sup>th</sup>, 2026

Accepted : July 13<sup>th</sup>, 2026

\*Corresponding Author: Resti

Pranata Putri, Program Studi Teknologi Rekayasa Pangan, Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember, Jember, Indonesia;

Email:

[resti.pranata@polije.ac.id](mailto:resti.pranata@polije.ac.id)

**Abstract:** This study evaluated the effect of Modified Cassava Flour (MOCAF) substitution on the stability of encapsulated vitamin C (ascorbic acid), crude fiber content, and color index of starch-based composite noodles. Vitamin C was encapsulated using a maltodextrin–CMC matrix (18.2:1.8%) via freeze-drying and incorporated into noodles with varying wheat-to-MOCAF ratios: MCF00 (100:0), MCF01 (90:10), MCF02 (70:30), and MCF03 (50:50). These were compared with Control 1 (unfortified) and Control 2 (fortified with non-encapsulated vitamin C). Encapsulation significantly improved vitamin C retention, reaching 0.32–0.38 mg/g, approximately twofold higher than the non-encapsulated control (0.15 mg/g). Thermal processing caused a marked decline in the Modified Noodle Color Index (NCI<sub>m</sub>) of Control 2 (62.67 to 51.44), likely due to Maillard-like browning reactions. In contrast, noodles with encapsulated vitamin C maintained a stable color (NCI<sub>m</sub> 61.06 to 63.44). Increasing MOCAF substitution significantly enhanced crude fiber content (up to 4.97% in MCF03) and improved noodle lightness (L\*). Overall, the maltodextrin–CMC system effectively protected vitamin C from thermal degradation, regardless of starch matrix variation. Further studies are recommended to investigate shelf-life stability and in vitro release of vitamin C in the gastrointestinal tract.

**Keywords:** Crude fiber; Microencapsulation; MOCAF; Vitamin C.

### Pendahuluan

Singkong (*Manihot esculenta* Crantz), sebagai komoditas tropis utama di Indonesia, memiliki potensi biologis besar yang dapat dioptimalkan melalui bioteknologi fermentasi mikroba menjadi Modified Cassava Flour (MOCAF). Proses ini memanfaatkan aktivitas enzim pektinolitik dan selulolitik dari bakteri asam laktat, seperti *Lactobacillus*, untuk merombak struktur dinding selulosa, yang secara signifikan memperbaiki karakteristik fisikokimia tepung, termasuk kadar air yang lebih rendah, derajat keputihan yang lebih tinggi, serta aroma yang lebih spesifik (Zaki *et al.*, 2024). Hasil modifikasi ini menghasilkan

tepung fungsional bebas gluten dengan kandungan serat tinggi yang lebih aplikatif dalam formulasi pangan komposit dibandingkan singkong segar, meskipun tantangan karakteristik tekstural akibat kandungan amilopektin tetap menjadi perhatian penting dalam aplikasinya (Herlina *et al.*, 2024). Meski demikian, pengembangan mi bebas gluten berbasis MOCAF terbukti menghasilkan karakteristik fisikokimia dan sensori yang baik, bahkan mampu berkontribusi sebagai sumber serat pangan fungsional yang sehat (Violalita *et al.*, 2024).

Peningkatan nilai biologis MOCAF dapat dicapai melalui fortifikasi senyawa bioaktif alami, khususnya vitamin C (asam askorbat),

yang berperan sebagai antioksidan untuk mencegah kerusakan oksidatif seluler dan mendukung kesehatan manusia (Bińkowska *et al.*, 2024). Namun, stabilitas molekuler vitamin C rentan terhadap faktor lingkungan seperti suhu, pH, oksigen, cahaya, dan kelembapan, terutama selama proses pengolahan yang melibatkan pemanasan. Di antara berbagai jenis mikronutrien, vitamin C tercatat memiliki tingkat stabilitas yang paling rendah dalam kondisi pengolahan bersuhu tinggi jika dibandingkan dengan thiamin atau niasin (Sánchez-Osorno *et al.*, 2024). Tantangan ini menuntut strategi stabilisasi yang efektif untuk mempertahankan retensi vitamin C dalam produk akhir berbasis MOCAF.

Teknologi enkapsulasi menawarkan solusi inovatif untuk melindungi senyawa bioaktif tersebut dengan cara membentuk matriks polimer yang stabil untuk membatasi kerusakan (Finotelli, 2015; Wardhani *et al.*, 2020). Penerapan metode ini terbukti secara efektif mampu meningkatkan toleransi termal asam askorbat, menaikkan suhu dekomposisinya, serta mempertahankan kadarnya secara signifikan lebih tinggi dibandingkan bentuk bebas (non-enkapsulasi) setelah melewati perlakuan panas (Hao *et al.*, 2026). Dalam sistem enkapsulasi ini, maltodekstrin yang merupakan polisakarida hasil hidrolisis parsial pati dimanfaatkan sebagai agen enkapsulan utama karena memiliki kelarutan tinggi dan viskositas rendah. Beberapa studi terdahulu telah mengeksplorasi penggunaan maltodekstrin yang dikombinasikan dengan gum arab untuk enkapsulasi asam askorbat pada produk pakan atau sistem emulsi cair (Delaporte *et al.*, 2024; Jaroensaensui *et al.*, 2022).

Namun, *carboxymethyl cellulose* (CMC) lebih dipilih karena memiliki sifat sebagai polimer pengikat (*binder*) dan agen penstabil dalam proses *freeze-drying* (pengeringan beku). Sifat hidrokoloid dan kemampuan *film-forming* (pembentuk lapisan) dari CMC menciptakan matriks struktural kuat yang esensial untuk melindungi dan menjaga integritas mikrokapsul agar tidak kolaps atau menyusut secara ekstrem saat air disublimasikan (Stabrauskiene *et al.*, 2024). Integrasi maltodekstrin dengan CMC membentuk matriks dinding komposit yang sinergis, sehingga mampu meningkatkan

efisiensi enkapsulasi secara optimal (Zuhroh *et al.*, 2026). Kombinasi ini membentuk struktur matriks padat yang tahan terhadap proses *freeze drying*, sehingga sangat ideal untuk diaplikasikan pada fortifikasi produk MOCAF.

Pengintegrasian enkapsulan vitamin C ke dalam matriks pangan merupakan langkah krusial untuk menilai efikasi proteksi senyawa bioaktif dalam kondisi pengolahan yang nyata. Dalam penelitian ini, produk berbasis mi komposit terigu-MOCAF dipilih sebagai sistem matriks model untuk menguji stabilitas vitamin C terenkapsulasi. Struktur mi, yang terbentuk melalui proses mekanis dan perlakuan termal, memberikan tantangan lingkungan yang ideal untuk menilai seberapa baik matriks maltodekstrin CMC melindungi vitamin C dari degradasi oksidatif.

Meskipun studi sebelumnya mengenai matriks berbasis MOCAF telah mengeksplorasi karakteristik fisikokimia dan (Ibrahim *et al.*, 2024), investigasi sistemik mengenai efisiensi retensi bioaktif dalam sistem komposit ini masih terbatas. Penelitian terdahulu oleh Zuhroh *et al.* (2026) telah berhasil mengoptimasi formula mikroenkapsulasi vitamin C dengan variasi rasio maltodekstrin dan CMC, di mana rasio 18,2%:1,8% terbukti menjadi formula terbaik dengan efisiensi enkapsulasi mencapai 85,35%. Namun, evaluasi komprehensif mengenai bagaimana performa mikrokapsul optimal tersebut jika diintegrasikan ke dalam berbagai tingkat konsentrasi substitusi MOCAF belum dipelajari. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi substitusi MOCAF (0%, 10%, 30%, dan 50%) terhadap efisiensi retensi Vitamin C, profil serat pangan, serta indeks warna. Desain eksperimental menyertakan dua jenis kontrol yaitu matriks tanpa fortifikasi dan matriks dengan fortifikasi vitamin C non-enkapsulasi, untuk memvalidasi efikasi sistem pembawa yang dikembangkan. Temuan ini diharapkan berkontribusi pada pengembangan bioteknologi tropis melalui preservasi senyawa nutrasetika dalam sistem matriks berbasis tepung singkong (*Manihot esculenta* Crantz) termodifikasi (MOCAF).

## Bahan dan Metode

Bahan-bahan meliputi vitamin C (asam

askorbat), maltodekstrin, *carboxymethyl cellulose* (CMC), tepung terigu protein tinggi, tepung MOCAF, serta bahan penunjang pembuatan mi seperti telur, garam, kaldu bubuk, dan minyak goreng. Prosedur enkapsulasi vitamin C merujuk pada metode Zuhroh *et al.* (2026), maltodekstrin dan CMC disiapkan dalam rasio 18,2:1,8 (%) dan dilarutkan dalam akuades pada konsentrasi 20% (b/v). Larutan diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 30 menit pada suhu 25°C, kemudian ditambahkan larutan asam askorbat 99% (w/w). Emulsi yang terbentuk diaduk kembali selama 60 menit dengan kecepatan 8000 rpm, diikuti proses pengeringan menggunakan *freeze dryer* (Vacuum Freeze Dryer FD-10N -60A) pada suhu -55°C, tingkat vakum <10 Pa, selama 48 jam.

Desain eksperimen yang diterapkan dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL), di mana setiap perlakuan diulang sebanyak 3 kali. Formulasi mi basah fortifikasi dikembangkan berdasarkan modifikasi metode Ibrahim *et al.*, (2021) dan Kabir *et al.*, (2024), yang melibatkan penambahan 1 g vitamin C terenkapsulasi ke dalam campuran tepung dengan empat variasi rasio tepung terigu dan tepung MOCAF, yakni MCF00 (100:0), MCF01 (90:10), MCF02 (70:30), dan MCF03 (50:50). Selain itu, disiapkan dua kelompok kontrol untuk validasi data: Kontrol 1 (mi 100% terigu tanpa fortifikasi) dan Kontrol 2 (mi 100% terigu dengan fortifikasi serbuk vitamin C non-enkapsulasi). Adonan dibuat dengan mencampurkan 100 g campuran tepung, 7,5 g telur, 2 g CMC, 0,3 g garam, 0,2 g kaldu bubuk, 5 mL minyak goreng, dan 50 mL air matang, kemudian diuleni, diistirahatkan selama 30 menit, digiling, dan dipotong sesuai bentuk mi. Adapun proses pemasakan mi dilakukan pada suhu 100 °C selama 90 detik. Mi sudah matang saat mengapung dan terasa lembut namun tetap kenyal (*al dente*).

Analisis data mencakup pengujian kadar serat kasar berdasarkan prinsip SNI 01-2891-1992 (Tumangger *et al.*, 2021) dan analisis kadar vitamin C pada mi MOCAF dilakukan menggunakan metode titrasi iodimetri dengan modifikasi dari Syafitri *et al.*, (2023). Sebanyak 1 g sampel mi MOCAF yang telah dihaluskan diekstraksi menggunakan 100 mL akuades,

kemudian disaring hingga diperoleh filtrat. Sebanyak 10 mL filtrat diencerkan dalam labu ukur 100 mL (faktor pengenceran (FP) = 10). Proses dilanjutkan dengan memindahkan 10 mL larutan encer ke dalam erlenmeyer, diikuti penambahan tiga tetes indikator amilum 1%. Titrasi dengan iodin 0,01 N dilakukan hingga terbentuk warna biru permanen yang mengindikasikan titik akhir titrasi. Volume larutan iodin yang digunakan dicatat, kemudian kadar vitamin C dihitung berdasarkan ekuivalensi bahwa 1 mL larutan iodin 0,01 N setara dengan 0,8806 mg vitamin C menggunakan persamaan 1.

$$\text{Vitamin C } \left( \frac{\text{mg}}{\text{g}} \right) = \frac{\text{VI}_2 \times 0,8806 \times \text{FP}}{m} \quad (1)$$

dengan  $\text{VI}_2$  adalah volume larutan iodin 0,01 N yang digunakan (mL), FP merupakan faktor pengenceran, dan  $m$  adalah berat sampel (g).

Pengujian stabilitas warna pada mi mentah dan matang dilakukan menggunakan metode yang dimodifikasi dari Kumar dan Prabhasankar (2018). Analisis nilai  $L^*$ ,  $a^*$ , dan  $b^*$  diperoleh dari citra digital menggunakan perangkat lunak FIJI Image. Pengambilan gambar sampel dilakukan di dalam studio mini dengan kondisi pencahayaan dan jarak pengambilan gambar yang konsisten di setiap sesi. Selanjutnya, nilai yang diperoleh dikonversi menjadi *Modified Noodle Color Index* (NCIm) berdasarkan persamaan 2.

$$\text{NCIm} = \sqrt{L^{*2} + b^{*2} + a^{*2}} \quad (2)$$

Seluruh data pengujian dianalisis secara statistik menggunakan One-Way ANOVA. Jika terdapat pengaruh nyata, analisis dilanjutkan dengan Duncan's Multiple Range Test (DMRT) pada taraf 95% ( $\alpha = 0,05$ ) untuk mengidentifikasi signifikansi perbedaan antarperlakuan.

## Pembahasan

### Retensi Vitamin C

Tabel 1 menunjukkan adanya perbedaan nyata pada kadar retensi vitamin C antara formula kontrol (matriks dengan vitamin C serbuk) sebesar 0,15 mg/g dan formula dengan enkapsulan vitamin C (MCF00–MCF03) yang

berkisar antara 0,32–0,38 mg/g. Nilai retensi tertinggi diperoleh pada formula MCF01 (0,38 mg/g), hasil analisis statistik menunjukkan tidak adanya perbedaan nyata dengan formula lainnya. Dengan demikian, variasi rasio tepung

terigu dan mocaf pada matriks tidak berpengaruh nyata terhadap retensi vitamin C. Sebaliknya, faktor yang memberikan pengaruh signifikan adalah metode enkapsulasi itu sendiri.

**Tabel 1.** Retensi vitamin C pada matriks berbasis pati (terigu:MOCAF)

| Formulasi | Komposisi Matriks (Terigu: MOCAF) | Retensi Vitamin C (mg/g) |
|-----------|-----------------------------------|--------------------------|
| Kontrol 1 | 100 : 0                           | 0,00 ± 0,00 <sup>a</sup> |
| Kontrol 2 | 100:0 (non enkapsulasi Vit C)     | 0,15 ± 0,01 <sup>b</sup> |
| MCF 00    | 100:0 (enkapsulasi Vit C)         | 0,32 ± 0,02 <sup>c</sup> |
| MCF 01    | 90:10 (enkapsulasi Vit C)         | 0,38 ± 0,04 <sup>c</sup> |
| MCF 02    | 70:30 (enkapsulasi Vit C)         | 0,37 ± 0,06 <sup>c</sup> |
| MCF 03    | 50:50 (enkapsulasi Vit C)         | 0,32 ± 0,02 <sup>c</sup> |

Keterangan: Seluruh data dinyatakan sebagai rata-rata ± standar deviasi (SD) berdasarkan tiga kali ulangan (n = 3). Notasi huruf superskrip yang berbeda pada kolom yang sama mengindikasikan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik menurut uji lanjut Duncan (DMRT) pada taraf signifikansi 5% ( $p < 0,05$ )

Mikroenkapsulasi berperan penting dalam meningkatkan retensi vitamin C selama proses pengolahan mi. Penelitian sebelumnya yang menggunakan sistem enkapsulasi yang sama menunjukkan bahwa kombinasi bahan dinding maltodekstrin dan CMC dengan rasio 18,2:1,8 menghasilkan efisiensi enkapsulasi tertinggi, yaitu  $85,35 \pm 4,24\%$ , yang mengindikasikan bahwa sebagian besar vitamin C berhasil terperangkap di dalam matriks mikrokapsul (Zuhroh *et al.*, 2026). Efisiensi enkapsulasi yang tinggi tersebut sejalan dengan hasil penelitian ini, di mana kadar vitamin C pada mi yang difortifikasi menggunakan mikrokapsul secara nyata lebih tinggi dibandingkan mi yang difortifikasi menggunakan vitamin C serbuk.

Hasil ini menegaskan manfaat protektif dari proses enkapsulasi. Selama pengolahan mi, yang meliputi tahap pencampuran dan pembentukan lembaran, vitamin C yang tidak terlindungi terpapar kelembapan dan tekanan mekanis sehingga menyebabkan degradasi yang signifikan (Herlina *et al.*, 2024). Dalam hal ini, bahan dinding mikrokapsul berfungsi sebagai pelindung fisik yang meminimalkan kerusakan tersebut dan memastikan kandungan nutrisi akhir dalam produk tetap tinggi. Kemampuan matriks dinding ini dalam meminimalkan kerusakan mekanis dan termal menjadi sangat krusial guna menjamin kandungan nutrisi akhir dalam produk tetap tinggi demi tercapainya efek kesehatan yang diharapkan. Hal tersebut menunjukkan bahwa mikroenkapsulasi merupakan strategi efektif untuk

mempertahankan viabilitas vitamin C yang sensitif terhadap panas dan air dalam produk pangan olahan seperti mi (Hao *et al.*, 2026).

Keberhasilan proteksi ini sangat dipengaruhi oleh karakteristik material dinding kapsul yang digunakan, yaitu kombinasi maltodekstrin dan *carboxymethyl cellulose* (CMC). Penggunaan maltodekstrin untuk menyelimuti senyawa yang sensitif terhadap lingkungan terbukti memberikan efek menguntungkan terhadap stabilitas termis dan mekanis. Selain itu, enkapsulasi menggunakan maltodekstrin juga dapat memberikan sifat pelepasan terkendali (*controlled release*) pada bahan inti, memperpanjang masa simpan, serta menyamarkan rasa yang kurang menyenangkan untuk meningkatkan penerimaan sensoris. Sementara itu, CMC ditambahkan untuk berperan sebagai agen penstabil emulsi dan pengikat selama proses enkapsulasi (Gonardi *et al.*, 2022).

Di samping efektivitas perlindungan yang ditawarkan oleh karakteristik bahan penyalut tersebut, pengaruh matriks pangan terhadap retensi vitamin C juga perlu dievaluasi. Namun, variasi substitusi MOCAF tidak memberikan perbedaan nyata terhadap kadar vitamin C akhir yang sebagaimana ditunjukkan oleh nilai retensi kelompok MCF01–MCF03 yang berada pada kisaran 0,32–0,38 mg/g. Fenomena ini mengindikasikan bahwa stabilitas senyawa bioaktif dalam sistem ini lebih ditentukan oleh integritas mikrokapsul dibandingkan dengan interaksi matriks pati terigu-MOCAF. Dengan

demikian, sistem enkapsulasi ini mampu berfungsi secara independen dan optimal sebagai sistem penghantar (*delivery system*) dalam matriks pati, sekaligus menjamin retensi nutrisi meskipun terjadi perubahan komposisi substrat tepung.

### Analisis Stabilitas Warna dan *Modified Noodle Color Index* (NCI<sub>m</sub>)

Analisis stabilitas warna pada penelitian ini ditentukan melalui nilai *Modified Noodle Color Index* (NCI<sub>m</sub>). Parameter ini digunakan

untuk mengukur stabilitas oksidatif matriks mi selama proses pengolahan termal, sekaligus menjadi indikator biokimia dari tingkat degradasi vitamin C. Indeks ini menghitung magnitudo vektor warna total berdasarkan nilai nilai L\*, a\*, dan b\* untuk menggambarkan intensitas warna sampel secara menyeluruh (Ugarčić-Hardi *et al.*, 1999). Nilai NCI<sub>m</sub> yang lebih tinggi mengindikasikan bahwa matriks terlindungi dengan baik, sehingga kualitas warna mi yang diinginkan dapat dipertahankan (Raj & Dash, 2023).

**Tabel 2.** Analisis warna dan *Modified Noodle Color Index* (NCI<sub>m</sub>)

| Formulasi        | L*                         | a*                       | b*                         | <i>Modified Noodle Color Index</i> (NCI <sub>m</sub> ) |
|------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------|
| <b>Mi mentah</b> |                            |                          |                            |                                                        |
| Kontrol 1        | 54,47 ± 0,24 <sup>bc</sup> | 2,82 ± 0,15 <sup>f</sup> | 22,15 ± 1,09 <sup>bc</sup> | 58,87 ± 0,63 <sup>a</sup>                              |
| Kontrol 2        | 57,93 ± 0,37 <sup>c</sup>  | 2,46 ± 0,08 <sup>f</sup> | 23,77 ± 0,84 <sup>d</sup>  | 62,67 ± 0,66 <sup>fg</sup>                             |
| MCF 00           | 54,93 ± 0,35 <sup>c</sup>  | 3,56 ± 0,20 <sup>g</sup> | 23,28 ± 1,24 <sup>cd</sup> | 59,77 ± 0,81 <sup>ac</sup>                             |
| MCF 01           | 59,06 ± 0,62 <sup>f</sup>  | 2,80 ± 0,14 <sup>f</sup> | 21,85 ± 1,20 <sup>bc</sup> | 63,04 ± 1,00 <sup>bc</sup>                             |
| MCF 02           | 60,26 ± 0,70 <sup>g</sup>  | 1,66 ± 0,11 <sup>c</sup> | 19,40 ± 1,16 <sup>a</sup>  | 63,33 ± 1,02 <sup>gh</sup>                             |
| MCF 03           | 60,62 ± 0,66 <sup>g</sup>  | 1,74 ± 0,16 <sup>c</sup> | 21,50 ± 1,03 <sup>b</sup>  | 64,34 ± 0,96 <sup>h</sup>                              |
| <b>Mi matang</b> |                            |                          |                            |                                                        |
| Kontrol 1        | 53,92 ± 0,21 <sup>b</sup>  | 2,90 ± 0,01 <sup>a</sup> | 26,66 ± 0,33 <sup>e</sup>  | 60,22 ± 0,34 <sup>cd</sup>                             |
| Kontrol 2        | 47,36 ± 0,01 <sup>a</sup>  | 5,16 ± 0,07 <sup>h</sup> | 19,40 ± 0,44 <sup>a</sup>  | 51,44 ± 0,18 <sup>a</sup>                              |
| MCF 00           | 56,23 ± 0,26 <sup>d</sup>  | 2,15 ± 0,01 <sup>d</sup> | 23,72 ± 0,39 <sup>d</sup>  | 61,06 ± 0,39 <sup>de</sup>                             |
| MCF 01           | 56,42 ± 0,24 <sup>d</sup>  | 1,75 ± 0,01 <sup>c</sup> | 25,81 ± 0,54 <sup>e</sup>  | 62,07 ± 0,44 <sup>fg</sup>                             |
| MCF 02           | 57,34 ± 0,26 <sup>e</sup>  | 1,24 ± 0,01 <sup>b</sup> | 25,77 ± 0,45 <sup>e</sup>  | 62,88 ± 0,41 <sup>fg</sup>                             |
| MCF 03           | 59,08 ± 0,32 <sup>f</sup>  | 0,78 ± 0,02 <sup>a</sup> | 23,10 ± 0,63 <sup>cd</sup> | 63,44 ± 0,52 <sup>gh</sup>                             |

Keterangan :

Kontrol 1 (mi terigu tanpa fortifikasi vitamin C); Kontrol 2 (mi terigu dengan fortifikasi serbuk vitamin C non-enkapsulasi); MCF00 (mi fortifikasi enkapsulan vitamin C dengan rasio tepung terigu:MOCAF (100:0); MCF01 (rasio 90:10); MCF02 (rasio 70:30); MCF03 (rasio 50:50).

Berdasarkan Tabel 2, terdapat perbedaan yang nyata ( $p < 0,05$ ) pada pola stabilitas warna antara perlakuan kontrol dan perlakuan dengan enkapsulan. Perbedaan tersebut diamati melalui parameter warna L\*, a\*, dan b\*. Parameter L\* menunjukkan tingkat kecerahan dengan rentang nilai 0–100, dimana nilai 0 merepresentasikan warna hitam dan nilai 100 menunjukkan warna putih. Parameter a\* menunjukkan arah warna merah–hijau, dengan nilai positif mengindikasikan kecenderungan warna merah dan nilai negatif menunjukkan kecenderungan warna hijau. Sementara itu, parameter b\* menunjukkan arah warna kuning–biru, di mana nilai positif mengindikasikan warna kuning dan nilai negatif menunjukkan warna biru (Fadilah *et al.*, 2021).

Sampel kontrol 2 (fortifikasi Vitamin C non-enkapsulasi) menunjukkan penurunan nilai

NCI<sub>m</sub> yang drastis setelah proses pemasakan, yaitu dari 62,67 menjadi 51,44. Berdasarkan hasil uji lanjut DMRT, penurunan tersebut terbukti berbeda nyata secara statistik ( $p < 0,05$ ). Perlakuan Kontrol 2 menghasilkan nilai NCI<sub>m</sub> mi matang yang paling rendah dibandingkan seluruh perlakuan. Fenomena ini mengindikasikan terjadinya degradasi oksidatif yang masif pada matriks mi yang tidak terproteksi. Selain penurunan nilai NCI<sub>m</sub> tersebut, terlihat adanya peningkatan nilai a\* (kemerahan) pada mi matang menjadi 5,16; yang merupakan nilai kemerahan tertinggi dibandingkan sampel lainnya. Hal ini merupakan karakteristik klasik dari reaksi pencokelatan (*browning*) non-enzimatis.

Perubahan warna mi kontrol 2 menjadi lebih gelap, dibuktikan dengan menurunnya nilai kecerahan (L\*) secara nyata menjadi

47,36; mengindikasikan adanya degradasi termal asam askorbat menjadi asam dehidroaskorbat dan senyawa dikarbonil aktif lainnya akibat ketiadaan lapisan pelindung dari panas dan oksigen (Yu *et al.*, 2017). Dalam matriks tepung terigu yang kaya akan protein gluten, senyawa hasil degradasi vitamin C ini dapat menyerang gugus amina bebas pada protein mi dan menghasilkan pigmen melanoidin yang berkorelasi pada munculnya warna cokelat pada produk (Yan *et al.*, 2021).

Hal ini mengindikasikan ketiadaan enkapsulasi pelindung dapat menyebabkan vitamin C terekspos langsung terhadap panas dan oksigen selama proses pengolahan, sehingga degradasi termal serta oksidasi senyawa bioaktif di dalam matriks tepung meningkat. Sebaliknya, seri perlakuan dengan fortifikasi vitamin C terenkapsulasi menunjukkan stabilitas NCIm yang jauh lebih tinggi setelah pemasakan (nilai NCIm berkisar antara 61,06 – 63,44). Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa nilai NCIm mi matang pada kelompok MCF01 hingga MCF03 tidak berbeda nyata, namun lebih tinggi dibandingkan dengan Kontrol 2.

Hal ini membuktikan efikasi matriks maltodekstrin–CMC sebagai barrier fisik yang efektif. Mikrokapsul tersebut berhasil memitigasi kontak langsung antara oksigen dengan senyawa sensitif di dalam mi, sehingga menekan laju reaksi oksidasi yang menjadi pemicu diskolorasi yang tidak diinginkan (Kabir *et al.*, 2024). Stabilitas nilai NCIm pada MCF01 – MCF03 ini sejalan dengan data retensi vitamin C pada Tabel 1, yang menunjukkan kelompok tersebut memiliki kadar vitamin C yang lebih tinggi dan stabil.

Peran substitusi MOCAF dalam sistem matriks juga tampak memberikan kontribusi kecerahan produk. Peningkatan proporsi MOCAF (MCF01–MCF03) menunjukkan nilai  $L^*$  (kecerahan) yang lebih tinggi pada mi matang dibandingkan kontrol. Berdasarkan Tabel 2, nilai  $L^*$  mi matang meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi MOCAF, dari 56,23 pada MCF00 hingga mencapai nilai tertinggi pada MCF03 sebesar 59,08. Hal ini disebabkan oleh sifat fisikokimia tepung MOCAF yang memiliki derajat keputihan tinggi serta kandungan substrat oksidasi yang lebih rendah dibandingkan terigu protein tinggi (Raya *et al.*, 2024).

Analisa warna dan NCIm sebagai indikator stabilitas oksidatif sampel mi mentah dan matang menunjukkan bahwa pengintegrasian vitamin C terenkapsulasi dalam sistem matriks MOCAF menciptakan lingkungan stabil yang mampu menahan perubahan kimiawi akibat perlakuan termal. Hal ini memperkuat temuan sebelumnya bahwa enkapsulasi vitamin C berbasis maltodekstrin–CMC merupakan strategi yang efektif dalam meminimalisir degradasi oksidatif pada produk berbasis pati (Kraithong *et al.*, 2023).

### Kadar Serat

Data pada Tabel 3 menunjukkan bahwa kadar serat memiliki perbedaan nyata dan nilainya meningkat seiring dengan bertambahnya proporsi tepung MOCAF dalam formulasi. Peningkatan kadar serat ini mulai terlihat signifikan pada formula MCF01 jika dibandingkan dengan Kontrol 1 maupun Kontrol 2 yang tanpa penambahan tepung MOCAF.

**Tabel 3.** Profil kandungan serat pada matriks berbasis pati (terigu:MOCAF)

| Formulasi | Komposisi Matriks (Terigu: MOCAF) | Kadar Serat (%)           |
|-----------|-----------------------------------|---------------------------|
| Kontrol 1 | 100 : 0                           | 3,42 ± 0,13 <sup>a</sup>  |
| Kontrol 2 | 100:0 (non enkapsulasi Vit C)     | 3,48 ± 0,21 <sup>ab</sup> |
| MCF 00    | 100:0 (enkapsulasi Vit C)         | 3,49 ± 0,18 <sup>ab</sup> |
| MCF 01    | 90:10 (enkapsulasi Vit C)         | 3,79 ± 0,10 <sup>b</sup>  |
| MCF 02    | 70:30 (enkapsulasi Vit C)         | 4,68 ± 0,14 <sup>c</sup>  |
| MCF 03    | 50:50 (enkapsulasi Vit C)         | 4,97 ± 0,21 <sup>c</sup>  |

Keterangan: Seluruh data dinyatakan sebagai rata-rata ± standar deviasi (SD) berdasarkan tiga kali ulangan (n = 3). Notasi huruf superskrip yang berbeda pada kolom yang sama mengindikasikan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik menurut uji lanjut Duncan (DMRT) pada taraf signifikansi 5% ( $p < 0,05$ ).

Kenaikan kadar serat yang lebih tinggi terus berlanjut seiring meningkatnya komposisi

tepung MOCAF, dengan kadar serat tertinggi pada komposisi MCF03 yaitu 4,97%. Pola peningkatan ini menunjukkan bahwa rasio substitusi tepung MOCAF merupakan faktor utama yang mempengaruhi kadar serat produk ini. Tepung MOCAF diketahui memiliki kandungan serat yang lebih tinggi dibandingkan tepung terigu, yaitu sekitar 3,4% berbanding 2–2,5% per 100 gram (Dwipayanti *et al.*, 2022). Perbedaan struktur serat antara kedua jenis tepung menyebabkan peningkatan kadar serat seiring bertambahnya penggunaan MOCAF dalam formulasi. Temuan ini konsisten dengan laporan Badriani *et al.*, (2020) yang menunjukkan bahwa peningkatan substitusi MOCAF pada produk bakery berbanding lurus dengan kenaikan serat kasar. Selain itu, kandungan serat tinggi pada MOCAF berasal dari bahan bakunya, yaitu singkong, yang secara alami kaya akan serat (Ibrahim *et al.*, 2024).

## Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa mikroenkapsulasi menggunakan matriks enkapsulan maltodekstrin–CMC merupakan strategi yang sangat efektif untuk melindungi vitamin C dari degradasi termal dan oksidatif selama proses pengolahan mi. Formula dengan fortifikasi vitamin C terenkapsulasi (MCF00–MCF03) berhasil mempertahankan retensi zat aktif hingga dua kali lipat lebih tinggi (0,32 - 0,38 mg/g) dibandingkan dengan kontrol non-enkapsulasi (0,15 mg/g). Keberhasilan proteksi ini diperkuat oleh stabilitas nilai *Modified Noodle Color Index* (NCIm) yang tetap tinggi (61,06 - 63,44) setelah pemasakan. Sebaliknya, pada sampel non-enkapsulasi terjadi penurunan nilai NCIm yang drastis akibat reaksi pencokelatan Maillard. Sementara itu, variasi substitusi tepung MOCAF tidak mempengaruhi stabilitas retensi vitamin C, tetapi secara signifikan meningkatkan kualitas visual produk melalui derajat kecerahan yang lebih tinggi ( $L^*$ ) serta meningkatkan kadar serat kasar secara bertahap hingga mencapai 4,97% pada formula MCF03 (komposisi rasio terigu:MOCAF 50:50). Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena belum mencakup uji masa simpan (*shelf-life*) mi berbasis MOCAF serta evaluasi profil pelepasan vitamin C dalam simulasi saluran pencernaan (*in vitro*

*gastrointestinal digestion*). Kedua aspek tersebut memerlukan penelitian lebih lanjut untuk memastikan stabilitas jangka panjang dan bioaksesibilitas vitamin C saat dikonsumsi.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis dengan penuh rasa terima kasih mengucapkan apresiasi kepada Direktur Politeknik Negeri Jember atas dukungan terhadap penelitian ini melalui pendanaan PNPB tahun 2025.

## Referensi

- Badriani, B., Fadillah, R., & Sukainah, A. (2020). Pengaruh Substitusi Tepung Mocaf Dalam Pembuatan Kasipipi Sebagai Upaya Peningkatan Mutu Makanan Tradisional Khas Mandar (Pt. 187-199). *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, 6(2).  
<https://doi.org/https://doi.org/10.26858/jptp.v6i2.12673>
- Bińkowska, W., Szpicer, A., Wojtasik-Kalinowska, I., & Półtorak, A. (2024). Innovative Methods of Encapsulation and Enrichment of Cereal-Based Pasta Products with Biofunctional Compounds. *Applied Sciences*, 14(4), 1442.  
<https://doi.org/10.3390/app14041442>
- Delaporte, A., Duchemin, B., Grisel, M., & Gore, E. (2024). Impact of Wall Material-to-Active Ratio in the Stability of Spray-Dried Ascorbic Acid Using Maltodextrin and Gum Arabic. *Molecules*, 29(15), 3587.  
<https://doi.org/10.3390/molecules29153587>
- Dwipayanti, H., Agustini, N. P., & Antarini, A. A. N. (2022). Pengaruh rasio tepung mocaf dan tepung tempe terhadap karakteristik brownies kukus. *Jurnal Ilmu Gizi: Journal of Nutrition Science*, 11(2).  
<http://ejournal.poltekkes-denpasar.ac.id/index.php/JIG/article/view/jig1185>
- Fadilah, Distantina, S., Susanti, A. D., Damara, L. G. A., & Mawarni, G. H. (2021). Encapsulation of oryzanol-rich rice bran oil using carrageenan. *Journal of Physics: Conference Series*, 1858(1), 012022.

- <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1858/1/012022>
- Finotelli, P. V. (2015). Microencapsulation Of Ascorbic Acid In Maltodextrin And Capsul Using Spray Drying. Enpromer. 2nd Mercosur Congress on Chemical Engineering.
- Gonardi, R., Setijawaty, E., & Radix A.P. Jati, I. (2022). Pengembangan Produk Bubuk Tomat Dengan Pengereng Kabinet Menggunakan Enkapsulan Maltodekstrin Dan Natrium Carboxymethyl Cellulose. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 23(2), 101–118.  
<https://doi.org/10.21776/ub.jtp.2022.023.02.2>
- Hao, M., Tan, X., Liu, K., & Xin, N. (2026). Nanoencapsulation of nutraceuticals: Enhancing stability and bioavailability in functional foods. *Frontiers in Nutrition*, 12, 1746176.  
<https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1746176>
- Herlina, Nashiroh, T. A., Palupi, N. W., Wibowo, Y., Supartiningrum, L., & Baladraf, T. T. (2024). Characteristics of Wet Noodles from Mixed Flour (Wheat and MOCAF) and Butterfly Pea Flower Powder. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 14(3), 1035–1041.  
<https://doi.org/10.18517/ijaseit.14.3.19635>
- Ibrahim, M. I., Fizriani, P., & Mardiana. (2024). Karakteristik Fisikokimia dan Organoleptik Mi Kering dengan Substitusi Tepung Mocaf (Modified Cassava Flour) dan Tepung Daun Singkong (Manihot Utilissima). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1(1), 45–55.
- Jaroensaensuai, J., Wongsasulak, S., Yoovidhya, T., Devahastin, S., & Rungrasamee, W. (2022). Improvement of Moist Heat Resistance of Ascorbic Acid through Encapsulation in Egg Yolk–Chitosan Composite: Application for Production of Highly Nutritious Shrimp Feed Pellets. *Animals*, 12(18), 2384.  
<https://doi.org/10.3390/ani12182384>
- Kabir, M. R., Hasan, S. M. K., Islam, M. R., & Ahmed, M. (2024). Development of functional noodles by encapsulating mango peel powder as a source of bioactive compounds. *Heliyon*, 10(1), e24061.  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24061>
- Kraithong, S., Theppawong, A., & Huang, R. (2023). Encapsulated starch characteristics and its shell matrix mechanisms controlling starch digestion. *Food Chemistry*, 423, 136322.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136322>
- Raj, G. V. S. B., & Dash, K. K. (2023). Dragon fruit peel extract microcapsule incorporated pearl millet and dragon fruit pulp powder based functional pasta: Formulation, characterization, and release kinetics study. *Food Science and Biotechnology*, 32(6), 779–792.  
<https://doi.org/10.1007/s10068-022-01220-x>
- Raya, I., Augustyn, G., & Lopulalan, C. (2024). Karakteristik Kimia Dan Sensori Kukis Berbahan Baku Tepung Mocaf Dengan Tambahan Puree Jagung Kuning. *MARSEGU: Jurnal Sains dan Teknologi*, 1(1), 38–48.  
<https://doi.org/10.69840/marsegu/1.1.2024.38-48>
- Sánchez-Osorno, D. M., Amaya-Bustos, S. L., Molina-Ramírez, C., López-Jaramillo, M. C., & Martínez-Galán, J. P. (2024). Vitamin B Complex Encapsulation in Bacterial Nanocellulose: A Novel System for Heat and Chemical Stabilization in Food Products. *Polymers*, 16(21), 2961.  
<https://doi.org/10.3390/polym16212961>
- Stabrauskiene, J., Pudziuvelyte, L., & Bernatoniene, J. (2024). Optimizing Encapsulation: Comparative Analysis of Spray-Drying and Freeze-Drying for Sustainable Recovery of Bioactive Compounds from Citrus x paradisi L. Peels. *Pharmaceuticals*, 17(5), 596.  
<https://doi.org/10.3390/ph17050596>
- Syafitri, N., Munir, M. A., & Aprilia, V. (2023). Aplikasi Metode Titrasi Iodometri Untuk Determinasi Kadar Vitamin C Pada Jambu (Myrtaceae family). *Fullerene*

- Journ. Of Chem*, 8(2), 38–43.  
<https://doi.org/2010.37033/fjc.v8i2.492>
- Ugarčić-Hardi, Ž., Perić, L., Strelec, I., & Koceva, D. (1999). Comparison of colorimetric and spectrophotometric methods for colour determination in pasta. *Zeitschrift Fur Lebensmitteluntersuchung Und -Forschung A*, 208(5–6), 383–387.  
<https://doi.org/10.1007/s002170050434>
- Violalita, F., Yanti, H. F., Evawati, E., Roza, I., Ermiati, E., Fahmy, K., Yuswilara, Y., & Saputra, A. (2024). The Effect of the Ratio of Mocaf and Soybean Flour with Addition of Glucomannan on Physical, Chemical and Sensory Properties of Gluten-Free Wet Noodles. *Agroteknika*, 7(4), 589–603.  
<https://doi.org/10.55043/agroteknika.v7i4.446>
- Wardhani, D. H., Ulya, H. N., Nugroho, F., Widayat, Abdullah, Sasongko, S. B., Hadiyanto, A., & Nugroho, A. (2020). Vitamin C encapsulation by a gelation method using deacetylated glucomannan as a matrix. *Journal of King Saud University - Science*, 32(7), 2924–2930.  
<https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.07.010>
- Yan, B., Davachi, S. M., Ravanfar, R., Dadmohammadi, Y., Deisenroth, T. W., Pho, T. V., Odorisio, P. A., Darji, R. H., & Abbaspourrad, A. (2021). Improvement of vitamin C stability in vitamin gummies by encapsulation in casein gel. *Food Hydrocolloids*, 113, 106414.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106414>
- Yu, A.-N., Li, Y., Yang, Y., & Yu, K. (2017). The browning kinetics of the non-enzymatic browning reaction in L-ascorbic acid/basic amino acid systems. *Food Science and Technology*, 38(3), 537–542.  
<https://doi.org/10.1590/1678-457x.08717>
- Zaki, M., Devi, M., & Hidayati, L. (2024). *PENGUNAAN TEPUNG MOCAF (Modified cassava flour) DENGAN PERSENTASE BERBEDA MEMPENGARUHI KUALITAS BOLU KUKUS*. 6(1).
- Zuhroh, N., Putri, R. P., Indis, N. A., Choirun, A., & Rizkyana, A. D. (2026). Microencapsulation of vitamin C for functional MOCAF-based noodles. *BIO Web of Conferences*, 210, 02001.  
<https://doi.org/10.1051/bioconf/202621002001>