



## KAJIAN PERBANDINGAN ALGINAT DAN KITOSAN PADA MIKROKAPSUL LEMON LOKAL (*Citrus Limon* (L.) Burm.f.) SEBAGAI PERISA ALAMI SERTA STABILITASNYA TERHADAP SUHU DAN WAKTU PEMANASAN

(Comparative Study of Alginate and Chitosan in Local Lemon (*Citrus limon* (L.) Burm.f.) Microcapsules as Natural Flavoring and Their Stability Against Temperature and Heating Duration)

Ezra Agitian<sup>1\*</sup>, Luh Putu Wrasati<sup>1</sup>, Ni Made Wartini<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Magister Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Bali

\* Email: ezraagitian@gmail.com (Telp: +6282252956672)

Diterima tanggal 6 Juli 2025

Disetujui tanggal 16 September 2025

### ABSTRACT

Natural flavorings are aromatic compounds from plant-based materials that impart distinctive aroma and taste to foods. Local lemon (*Citrus limon* (L.) Burm.f.) is rich in vitamin C and volatile compounds with a fresh aroma but is highly heat-sensitive. Microencapsulation is required to maintain the stability of these bioactive compounds. This study aimed to investigate the effect of alginate and chitosan coating material ratios on the characteristics and stability of local lemon flavor microcapsules. Microencapsulation was performed using spray-drying method with six alginate:chitosan combinations (1:0.5; 1:1; 1:1.5; 1:2; 1:0; and 0:1). Parameters observed included yield, moisture content, vitamin C content,  $IC_{50}$ , encapsulation efficiency, solubility, dissolution time, and morphology. The optimal treatment was the 1:0.5 combination, yielding 47.33% recovery, 2.99% moisture content, 15.40 mg/g vitamin C, 43.00 ppm  $IC_{50}$ , 72.43% efficiency, 93.54% solubility, and 1.62 min dissolution time. The optimal microcapsules were tested for stability against temperature (40 °C, 60 °C, 80 °C) and heating durations (5, 15, 25 min). Temperature and time significantly affected ( $P < 0.01$ ) vitamin C content,  $IC_{50}$ , as well as aroma and taste. Treatment T1W1 (40 °C, 5 min) showed the highest stability, whereas T3W3 (80 °C, 25 min) exhibited significant degradation. GC-MS analysis of T1W1 revealed 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-cyclohexene as the major compound (28.22%). The alginate-chitosan combination effectively formed stable local lemon flavor microcapsules with potential as natural food additives.

**Keywords:** natural flavoring, local lemon, microencapsulation, stability.

### ABSTRAK

Perisa alami merupakan senyawa aromatik dari bahan nabati yang memberikan aroma dan rasa khas pada pangan. Lemon lokal (*Citrus limon* (L.) Burm.f.) kaya vitamin C dan senyawa volatil dengan aroma segar, namun bersifat sensitif terhadap panas. Mikroenkapsulasi diperlukan untuk menjaga stabilitas senyawa aktif tersebut. Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh perbandingan bahan penyalut alginat dan kitosan terhadap karakteristik dan stabilitas mikrokapsul perisa lemon lokal. Mikroenkapsulasi dilakukan dengan metode spray drying menggunakan enam kombinasi alginat:kitosan (1:0,5; 1:1; 1:1,5; 1:2; 1:0; dan 0:1). Parameter yang diamati meliputi rendemen, kadar air, vitamin C,  $IC_{50}$ , efisiensi enkapsulasi, kelarutan, waktu larut, dan morfologi. Perlakuan terbaik adalah kombinasi 1:0,5 dengan rendemen 47,33%, kadar air 2,99%, vitamin C 15,40 mg/g,  $IC_{50}$  43,00 ppm, efisiensi 72,43%, kelarutan 93,54%, dan waktu larut 1,62 menit. Mikrokapsul terbaik diuji stabilitasnya terhadap suhu (40 °C, 60 °C, 80 °C) dan waktu pemanasan (5, 15, 25 menit). Suhu dan waktu berpengaruh sangat nyata ( $P < 0,01$ ) terhadap kadar vitamin C,  $IC_{50}$ , serta aroma dan rasa. Perlakuan T1W1 (40 °C, 5 menit) menunjukkan stabilitas tertinggi, sedangkan T3W3 (80 °C, 25 menit) mengalami penurunan signifikan. Hasil GC-MS pada T1W1 menunjukkan senyawa utama 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-cyclohexene (28,22%). Kombinasi alginat-kitosan efektif membentuk mikrokapsul perisa lemon lokal yang stabil dan berpotensi sebagai bahan tambahan alami dalam pangan.

**Kata kunci:** perisa alami, lemon lokal, mikroenkapsulasi, stabilitas.



## PENDAHULUAN

Perisa merupakan salah satu komponen penting dalam industri pangan karena berfungsi memberikan cita rasa dan aroma khas pada produk makanan dan minuman. Berdasarkan asal-usulnya, perisa dibedakan menjadi dua jenis, yaitu perisa alami dan perisa sintetis. Perisa alami berasal dari bahan-bahan nabati seperti buah, sayuran, dan rempah-rempah, sedangkan perisa sintetis dihasilkan melalui proses kimia di laboratorium (Dusun *et al.*, 2020). Meskipun perisa sintetis lebih umum digunakan karena lebih stabil dan murah, penggunaannya dalam jangka panjang dapat menimbulkan kekhawatiran terhadap kesehatan. Oleh karena itu, penggunaan perisa alami dianggap lebih aman dan sehat serta lebih sesuai dengan tren konsumen modern yang mengutamakan produk berbasis bahan alami.

Salah satu sumber bahan perisa alami yang potensial adalah lemon lokal (*Citrus limon* (L.) Burm.f.). Lemon mengandung berbagai senyawa bioaktif seperti minyak atsiri (limonen, sitral, geraniil asetat), vitamin C, serta asam sitrat yang memberikan rasa asam alami (Hamidi *et al.*, 2016). Selain memberikan aroma dan rasa yang segar, lemon juga memiliki manfaat fungsional karena kandungan antioksidan dan vitamin yang tinggi. Penggunaan lemon sebagai bahan tambahan dalam produk pangan terbukti dapat meningkatkan karakteristik sensori dan nilai gizi, seperti ditunjukkan dalam penelitian oleh Widowati (2022) pada produk teh celup kelor yang menghasilkan pH ideal serta kandungan vitamin C dan fenol yang tinggi.

Untuk mempertahankan stabilitas senyawa aktif dalam lemon, terutama selama pengolahan dan penyimpanan, diperlukan teknologi enkapsulasi. Mikroenkapsulasi adalah metode pelapisan zat inti menggunakan bahan penyalut untuk melindungi senyawa sensitif dari faktor eksternal seperti panas, cahaya, dan oksigen (Rosenberg *et al.*, 2016). Dalam industri pangan, bahan penyalut yang umum digunakan adalah alginat dan kitosan. Alginat memiliki sifat kationik dan mampu membentuk gel ketika berinteraksi dengan ion kalsium, sedangkan kitosan bersifat anionik, biokompatibel, dan biodegradabel (Sinurat & Marliani, 2017; Wirjosentono *et al.*, 2020). Kombinasi kedua bahan ini terbukti memberikan hasil mikrokapsul yang stabil dan mampu mempertahankan senyawa bioaktif (Al-Samman & Sánchez, 2022).

Proses *spray drying* merupakan metode mikroenkapsulasi yang efektif karena dapat menghasilkan partikel mikrokapsul dalam jumlah besar, ukuran seragam, dan stabilitas tinggi (Sofyaningsih, 2018). Namun, stabilitas produk tetap dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti suhu, waktu pemanasan, pH, dan cahaya. Senyawa vitamin C dalam lemon sangat sensitif terhadap panas dan oksigen, sehingga berpotensi mengalami degradasi selama pengolahan (Herbig & Renard, 2017; Ningtyas, 2023). Oleh karena itu, penting dilakukan penelitian untuk memformulasikan mikrokapsul perisa lemon lokal dengan kombinasi penyalut optimal dan uji stabilitas terhadap waktu dan suhu guna mendapatkan produk perisa bubuk alami yang berkualitas tinggi.



## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Bahan utama yang digunakan yaitu buah lemon lokal (*Citrus limon*) yang diperoleh dari UD. Istana Buah, Denpasar, Bali dengan kriteria memiliki tingkat kesegaran dan warna kuning muda cerah yang seragam. Bahan kimia yang digunakan diantaranya reagen kuersetin (Aldrich, USA),  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (Merck, Germany), asam sulfat (Merck, Germany), sodium fosfat (Merck, Germany), ammonium molibdat (Merck, Germany), DPPH (Aldrich, USA), air, aquades (Rofa, Indonesia), metanol pro anaysis (Merck, Germany), alginat yang diperoleh melalui e-merchant diproduksi oleh Qinhuagdao Lihua Startch Co., LTD, kitosan yang diperoleh melalui e-merchant diproduksi oleh Phy Edumedia.

### Tahapan Penelitian

#### Tahap I Mikrokapsul Lemon

Penelitian tahap pertama menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 6 perlakuan kombinasi perbandingan alginat dan kitosan, yaitu AK1 (1:0,5), AK2 (1:1), AK3 (1:1,5), AK4 (1:2), AK5 (1:0), dan AK6 (0:1). Setiap perlakuan diulang sebanyak 3 kali sehingga terdapat 18 unit percobaan. Mikrokapsul perisa alami yang dihasilkan dari masing-masing perlakuan diuji untuk mengetahui pengaruh perbandingan bahan penyalut terhadap karakteristik mikrokapsul. Data dianalisis menggunakan sidik ragam (ANOVA), dan jika terdapat perbedaan nyata, dilanjutkan dengan uji Duncan.

#### Pembuatan serbuk lemon lokal (Saraswati, 2022)

Lemon lokal dicuci, dipotong  $\pm 2$  cm beserta kulit dan dagingnya, lalu dikeringkan dengan *food dehydrator* pada suhu  $60 \pm 2^\circ\text{C}$  selama 28 jam hingga kadar air mencapai 5%. Setelah kering, lemon digiling menggunakan *food grinder* dan diayak dengan ayakan 40 mesh untuk memperoleh serbuk halus. Serbuk lemon diekstraksi dengan pelarut air (1:20) menggunakan *hot plate* suhu  $60 \pm 2^\circ\text{C}$  dan *magnetic stirrer* 300 rpm selama 120 menit, lalu disaring menggunakan kertas saring dan Whatman No.1 hingga diperoleh ekstrak jernih siap digunakan.

#### Pembuatan mikrokapsul ekstrak lemon (Yogaswara, 2017)

Sebanyak 100 mL ekstrak lemon ditimbang dan dicampurkan dengan bahan penyalut sesuai taraf perlakuan. Campuran kemudian dihomogenisasi menggunakan *homogenizer* pada kecepatan 600 rpm selama 30 menit agar diperoleh emulsi yang stabil. Setelah tercampur merata, proses dilanjutkan dengan pengeringan menggunakan metode *spray drying*. Alat *spray dryer* dinyalakan, suhu *inlet* diatur pada  $100^\circ\text{C}$ , dan kecepatan aliran diatur 8 mL/menit. Sampel diaduk kembali dalam *feed tank* agar tetap homogen, lalu dipompa menggunakan pompa peristaltik melalui selang silikon ke dalam *drying chamber*. Di dalam *chamber*, campuran disemprotkan melalui *nozzle* dengan bantuan *blower*, membentuk droplet halus yang segera terpapar udara panas. Uap air dalam droplet



menguap akibat suhu tinggi, sementara partikel padatan mikrokapsul yang terbentuk tertampung dalam chamber penampung. Proses ini menghasilkan mikrokapsul serbuk yang stabil dan efisien.

## Tahap II Stabilitas Mikroenkapsul Lemon Lokal

Penelitian tahap II menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) pola faktorial dengan dua faktor, yaitu suhu pemanasan (T) dan waktu pemanasan (W). Suhu terdiri dari tiga taraf: T1 (40°C), T2 (60°C), dan T3 (80°C). Waktu terdiri dari tiga taraf: W1 (5 menit), W2 (15 menit), dan W3 (25 menit). Kombinasi kedua faktor menghasilkan sembilan perlakuan (T1W1 hingga T3W3), yang masing-masing diulang dua kali berdasarkan waktu pengerjaannya sehingga total terdapat 18 unit percobaan. Data dianalisis menggunakan sidik ragam (ANOVA), dan jika terdapat pengaruh signifikan, maka dilanjutkan dengan uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT). Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh suhu dan waktu terhadap stabilitas mikrokapsul perisa lemon.

## Pembuatan serbuk lemon lokal (Julyantika, 2023)

Penelitian tahap II merupakan uji stabilitas mikrokapsul lemon lokal terhadap suhu dan waktu pemanasan. Uji stabilitas mikrokapsul lemon menggunakan hasil mikroenkapsul terbaik dari penelitian tahap I. Pertama-tama mikrokapsul ditimbang sebanyak 5g kemudian dilarutkan dengan 100ml aquades. Diinkubasi pada inkubator sesuai dengan taraf perlakuan. Setelah diinkubasi, sampel diuji berdasarkan variabel yang diamati.

## Analisis Penelitian

Variabel yang diamati pada penelitian tahap I diantaranya: rendemen mikrokapsul (Gardjito *et al.*, 2006), kadar air (AOAC, 1990), total vitamin C (Vuong *et al.*, 2014), IC50 (Dali *et al.*, 2017), efisiensi enkapsulasi (Armazah, 2016), kelarutan (AOAC, 1990), waktu larut (Nugraha *et al.*, 2018), serta morfologi mikrokapsul terhadap perlakuan dengan karakteristik ekstrak terbaik. Perlakuan terbaik pada tahap 1 dipilih dengan melihat kadar terbaik disetiap parameter uji, jika hasil menyebar maka ditentukan melalui uji indeks efektivitas. Variabel pengamatan penelitian tahap II terdiri atas variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas diantaranya perbandingan antara suhu dan waktu pemanasan. Variabel terikat yaitu Vitamin C (Vuong *et al.*, 2014), IC50 (Dali *et al.*, 2017), skoring rasa dan aroma (Soekarto, 1985), dan identifikasi komponen flavor pada perlakuan terbaik menggunakan instrumen GC-MS (Sanjaya, 2002).

## Analisis Data

Data yang diperoleh dalam penelitian tahap I dan tahap II dianalisis menggunakan sidik ragam (ANOVA) dan apabila terdapat pengaruh perlakuan terhadap variabel yang diamati dilanjutkan dengan uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada selang kepercayaan 95% dan taraf signifikan 5% (Gomez KA dan Gomez AA, 1995) dengan bantuan software IBM SPSS Statistik Versi 25. Perlakuan terbaik dengan mengambil hasil terbaik berdasarkan indeks efektivitas pada tahap I dan II untuk semua variabel uji.



## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Analisis Tahap I Mikro kapsul Lemon

Mikroenkapsulasi mampu mempertahankan senyawa aktif utama seperti vitamin C yang terdapat dalam ekstrak lemon. Hal ini sangat penting untuk menjaga efektivitas manfaat kesehatan yang terkandung dalam produk akhir. Selain itu, uji kestabilan awal terhadap faktor lingkungan seperti suhu dan cahaya memperlihatkan bahwa mikro kapsul lemon memiliki daya tahan yang baik, sehingga kandungan bioaktif tetap terjaga selama penyimpanan dan pemakaian. Informasi lebih rinci mengenai hasil analisis tahap I ini dapat dilihat pada Tabel, yang memuat data lengkap terkait karakteristik fisik dan kimia mikro kapsul lemon yang telah dihasilkan.

Hasil analisis tahap I mikro kapsul lemon menunjukkan karakteristik yang dihasilkan dari proses mikroenkapsulasi ekstrak lemon lokal. Data yang diperoleh pada tahap ini memberikan gambaran mengenai mutu mikro kapsul yang terbentuk, baik dari segi sifat fisik maupun kandungan bioaktifnya. Informasi lengkap mengenai hasil analisis tahap I mengenai Rendemen, Kadar Air, dan Kadar Vitamin C dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi analisis ragam Mikro kapsul Lemon Lokal Rendemen, Kadar Air, dan Kadar Vitamin C

Perlakuan	Parameter Penelitian		
	Rendemen (%)	Kadar air (%)	Kadar vitamin C (mg/g)
AK1	47,33 ± 0,12 <sup>a</sup>	2,99 ± 0,08 <sup>f</sup>	24,21 ± 1,20 <sup>e</sup>
AK2	47,57 ± 0,05 <sup>b</sup>	2,85 ± 0,04 <sup>e</sup>	19,76 ± 0,14 <sup>d</sup>
AK3	47,83 ± 0,12 <sup>c</sup>	2,66 ± 0,07 <sup>d</sup>	18,97 ± 0,50 <sup>cd</sup>
AK4	48,03 ± 0,09 <sup>d</sup>	2,55 ± 0,02 <sup>c</sup>	18,08 ± 0,37 <sup>bc</sup>
AK5	48,13 ± 0,05 <sup>d</sup>	2,28 ± 0,08 <sup>b</sup>	17,29 ± 0,24 <sup>b</sup>
AK6	48,37 ± 0,05 <sup>e</sup>	2,11 ± 0,03 <sup>a</sup>	15,40 ± 0,61 <sup>a</sup>

Keterangan: Perlakuan kombinasi perbandingan alginat dan kitosan, yaitu AK1 (1:0,5), AK2 (1:1), AK3 (1:1,5), AK4 (1:2), AK5 (1:0), dan AK6 (0:1)

### Rendemen

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan memberikan pengaruh yang sangat nyata ( $P < 0,01$ ) terhadap rendemen mikro kapsul lemon lokal. Berdasarkan hasil analisis, nilai rendemen mikro kapsul lemon lokal berkisar antara 47,33% ± 0,12<sup>a</sup> hingga 48,37% ± 0,05<sup>e</sup>. Rata-rata rendemen mikro kapsul lemon lokal tertinggi diperoleh pada perlakuan AK6 sebesar 48,37% ± 0,05<sup>e</sup>, yang tidak berbeda nyata dengan AK5 (48,13% ± 0,05<sup>d</sup>) dan AK4 (48,03% ± 0,09<sup>d</sup>). Sementara itu, rendemen terendah diperoleh pada perlakuan AK1 sebesar 47,33% ± 0,12<sup>a</sup>. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi perlakuan dalam proses mikroenkapsulasi mampu memengaruhi jumlah rendemen yang dihasilkan setelah proses pengeringan. Diduga bahwa perbedaan rendemen ini dipengaruhi oleh formulasi bahan penyalut dan kondisi proses yang digunakan, di mana perlakuan tertentu memberikan efisiensi enkapsulasi yang lebih tinggi. Semakin tinggi efisiensi proses pengeringan serta kemampuan bahan penyalut dalam membungkus komponen aktif, maka jumlah mikro kapsul yang terbentuk juga akan semakin besar. Hal ini sesuai dengan pernyataan Marpaung *et al.* (2021) bahwa penggunaan bahan penyalut yang tepat dapat meningkatkan



interaksi dengan komponen aktif dalam bahan yang dikapsulkan, sehingga menghasilkan serbuk dalam jumlah lebih banyak setelah proses pengeringan. Hasil uji rendemen mikrokapsul lemon lokal dapat dilihat pada Tabel 1.

Penelitian serupa juga disampaikan oleh Aditya *et al.* (2021) yang melaporkan bahwa peningkatan rasio bahan penyalut seperti maltodekstrin menghasilkan rendemen mikrokapsul ekstrak pandan yang lebih tinggi, yaitu sebesar 36,47% dan 35,27%. Jumlah mikrokapsul yang terbentuk sangat menentukan besarnya rendemen suatu produk. Oleh karena itu, peningkatan rasio bahan penyalut dianggap menguntungkan dalam industri pangan (Millan dan Puspita, 2019). Proses pengeringan menggunakan metode spray drying juga dilaporkan mampu meningkatkan rendemen mikrokapsul karena efisiensinya yang tinggi dalam menghasilkan serbuk kering (Soyaningsih dan Iswahyudi, 2018).

### Kadar air

Hasil analisis menunjukkan bahwa perlakuan rasio bahan pelapis berpengaruh sangat nyata ( $P < 0,01$ ) terhadap kadar air mikrokapsul ekstrak lemon lokal. Nilai kadar air berkisar antara  $2,11 \pm 0,03^a$  hingga  $2,99 \pm 0,08^f$ , dengan kadar tertinggi pada AK1 ( $2,99 \pm 0,08^f$ ) dan terendah pada AK6 ( $2,11\% \pm 0,03^a$ ). Kadar air cenderung menurun seiring meningkatnya proporsi kitosan dalam formula. Hal ini berkaitan dengan kemampuan kitosan membentuk struktur dinding mikrokapsul yang lebih rapat dan padat, sehingga lebih efektif menahan penguapan air. Sebaliknya, alginat yang bersifat hidrofilik cenderung meningkatkan kadar air karena lebih mudah menyerap kelembapan dari lingkungan (Cao, 1999). Hasil uji kadar air mikrokapsul lemon lokal dapat dilihat pada Tabel 1.

Interaksi antara gugus amino kitosan dan karboksilat alginat membentuk struktur gel polielektrolit yang memperkuat dinding mikrokapsul, memperkecil permeabilitas terhadap uap air (Wang *et al.*, 2021). Selain itu, peningkatan padatan total dalam formula juga mempercepat proses pengeringan dan menurunkan kadar air, karena air lebih cepat menguap dari struktur padat (Millan & Puspita, 2019). Perlakuan AK6 terbukti paling optimal dalam menurunkan kadar air, namun formulasi AK4 dapat menjadi alternatif yang memberikan keseimbangan antara kelembapan rendah dan efisiensi pelepasan flavor. Seluruh perlakuan telah memenuhi standar kadar air mikrokapsul untuk produk serbuk instan (SNI 01-4320-1996), yang menunjukkan keberhasilan proses mikroenkapsulasi.

### Kadar Vitamin C

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam yang di Analisis menunjukkan bahwa rasio bahan pelapis berpengaruh sangat nyata ( $P < 0,01$ ) terhadap kadar vitamin C dalam mikrokapsul lemon, dengan rentang  $15,40 \pm 0,61^a$  hingga  $24,21 \pm 1,20^e$  mg/g. Perlakuan AK1 (alginat dominan) menghasilkan kadar tertinggi ( $24,21 \pm 1,20^e$  mg/g), sedangkan AK6 (kitosan tunggal) paling rendah ( $15,40$  mg/g  $\pm 0,61^a$ ). Alginat diduga lebih efektif melindungi vitamin C karena kemampuannya membentuk gel tiga dimensi yang stabil dengan ion kalsium, sehingga mampu mengurangi kontak dengan oksigen, panas, dan cahaya yang mempercepat degradasi. Sebaliknya, peningkatan



proporsi kitosan menyebabkan penurunan kadar vitamin C, kemungkinan karena sifat kationiknya dapat memicu oksidasi asam askorbat dalam kondisi tertentu. Hasil uji kadar vitamin C mikrokapsul lemon lokal dapat dilihat pada Tabel 1.

Vitamin C sangat rentan terhadap degradasi lingkungan, sehingga pemilihan bahan pelapis menjadi faktor penting. Alginat unggul dalam menjaga stabilitas senyawa ini dibandingkan kitosan yang lebih efektif untuk membentuk dinding padat, namun kurang protektif terhadap senyawa sensitif (Estevinho *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2017). Meskipun AK6 unggul dalam menurunkan kadar air, kadar vitamin C-nya justru paling rendah. Seluruh perlakuan tetap menunjukkan kadar vitamin C yang jauh di atas standar minimal SNI (0,15 mg/g), membuktikan efektivitas mikroenkapsulasi. Formulasi AK1 menjadi pilihan terbaik untuk produk dengan klaim vitamin C tinggi, sementara AK2–AK3 layak dipertimbangkan karena tetap menjaga stabilitas senyawa aktif dan struktur fisik mikrokapsul.

Mikroenkapsulasi merupakan teknik yang efektif dalam mempertahankan senyawa bioaktif, terutama antioksidan, yang terkandung dalam ekstrak lemon. Kandungan antioksidan ini berperan penting dalam memberikan manfaat kesehatan, seperti melawan radikal bebas dan mencegah kerusakan sel. Salah satu parameter penting dalam mengukur aktivitas antioksidan adalah nilai IC<sub>50</sub>, yaitu konsentrasi ekstrak yang mampu menghambat 50% radikal bebas, yang mencerminkan potensi efektivitas antioksidan suatu sampel. Hasil uji stabilitas mikrokapsul terhadap faktor lingkungan seperti suhu dan cahaya menunjukkan bahwa proses mikroenkapsulasi mampu menjaga kestabilan kandungan bioaktif dan aktivitas antioksidannya selama penyimpanan. Informasi lebih lengkap mengenai karakteristik fisik serta kandungan kadar vitamin C dan nilai IC<sub>50</sub> dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi analisis ragam Aktivitas antioksidan dan nilai IC<sub>50</sub>

Perlakuan	Parameter Penelitian	
	Aktivitas antioksidan ( ppm <sup>-1</sup> × 1000)	Nilai IC <sub>50</sub> (ppm)
AK1	23,26 ± 0,13 <sup>a</sup>	43,00 ± 0,24 <sup>a</sup>
AK2	23,02 ± 0,20 <sup>a</sup>	43,43 ± 0,37 <sup>a</sup>
AK3	22,35 ± 0,28 <sup>b</sup>	44,74 ± 0,57 <sup>b</sup>
AK4	21,91 ± 0,15 <sup>b</sup>	45,64 ± 0,32 <sup>b</sup>
AK5	21,27 ± 0,66 <sup>c</sup>	47,01 ± 1,45 <sup>c</sup>
AK6	19,62 ± 0,42 <sup>d</sup>	50,99 ± 1,09 <sup>d</sup>

Keterangan: Perlakuan kombinasi perbandingan alginat dan kitosan, yaitu AK1 (1:0,5), AK2 (1:1), AK3 (1:1,5), AK4 (1:2), AK5 (1:0), dan AK6 (0:1)

### Aktivitas Antioksidan

Hasil analisis aktivitas antioksidan mikrokapsul lemon menunjukkan bahwa variasi rasio bahan pelapis berpengaruh sangat nyata ( $p < 0,01$ ) terhadap efektivitas penghambatan radikal bebas. Formulasi AK1 (23,26 ± 0,13a) dan AK2 (23,02 ± 0,20a) menunjukkan aktivitas antioksidan tertinggi, dan secara statistik tidak berbeda



nyata satu sama lain. Hal ini mengindikasikan bahwa kombinasi alginat:kitosan dalam rasio 1:0,5 dan 1:1 pada AK1 dan AK2 memberikan struktur mikrokapsul yang memungkinkan pelepasan senyawa aktif secara optimal, khususnya vitamin C dan flavonoid. Struktur gel yang terbentuk cenderung lebih hidrofilik dan terbuka, sehingga meningkatkan difusi senyawa bioaktif ke medium dan mempercepat reaksi dengan radikal bebas. Sementara itu, AK3 ( $22,35 \pm 0,28b$ ) dan AK4 ( $21,91 \pm 0,15b$ ) menunjukkan aktivitas antioksidan yang masih tinggi namun berbeda signifikan dari AK1 dan AK2. Penurunan ini kemungkinan disebabkan oleh peningkatan proporsi kitosan dalam struktur pelapis, yang mulai mengurangi permeabilitas gel dan memperlambat pelepasan senyawa aktif.

Aktivitas antioksidan terus menurun secara signifikan pada AK5 ( $21,27 \pm 0,66c$ ), dan mencapai titik terendah pada AK6 ( $19,62 \pm 0,42d$ ). Formulasi AK6 yang hanya menggunakan kitosan tanpa alginat menghasilkan struktur matriks yang padat dan kurang larut, sehingga pelepasan senyawa antioksidan menjadi lebih terbatas. Meskipun dapat memberikan perlindungan yang baik terhadap degradasi, struktur ini cenderung menghambat efisiensi reaksi antioksidan dalam waktu singkat. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Xiao *et al.* (2014) yang menyatakan bahwa struktur gel padat berbasis kitosan memperlambat pelepasan zat bioaktif. Selain itu, Chen *et al.* (2016) menunjukkan bahwa kitosan cenderung tidak larut dalam pH netral, berbeda dengan alginat yang bersifat larut air dan berperan dalam meningkatkan pelepasan senyawa aktif. Penelitian Maleki *et al.* (2022) juga mendukung bahwa konsentrasi tinggi kitosan berdampak negatif terhadap efektivitas pelepasan senyawa bioaktif. Secara umum, hasil ini mengindikasikan bahwa struktur mikrokapsul sangat mempengaruhi aktivitas antioksidan. Formulasi dengan rasio alginat lebih tinggi atau seimbang dengan kitosan (AK1 dan AK2) lebih sesuai untuk aplikasi pangan fungsional yang membutuhkan aktivitas antioksidan tinggi dan pelepasan cepat, sedangkan formulasi seperti AK6 lebih cocok untuk pelepasan bertahap (*sustained release*).

#### Nilai IC<sub>50</sub>

Hasil analisis menunjukkan bahwa rasio bahan pelapis berpengaruh sangat nyata ( $P < 0,01$ ) terhadap nilai IC<sub>50</sub> mikrokapsul lemon, dengan rentang  $43,00 \pm 0,24^a$  hingga  $50,99 \pm 1,09^d$  ppm. Nilai IC<sub>50</sub> terendah diperoleh pada AK1 ( $43,00 \pm 0,24^a$  ppm), sedangkan tertinggi pada AK6 ( $50,99 \pm 1,09^d$  ppm). Semakin rendah nilai IC<sub>50</sub>, maka semakin tinggi aktivitas antioksidan. Seluruh perlakuan termasuk kategori "sangat kuat" (IC<sub>50</sub> < 50 ppm), namun formulasi AK1 dan AK2 menunjukkan aktivitas paling tinggi. Hasil uji kadar IC<sub>50</sub> mikrokapsul lemon lokal dapat dilihat pada Tabel 2.

AK1 yang mengandung rasio alginat:kitosan (1:0,5) memiliki struktur gel yang lebih terbuka dan hidrofilik, sehingga senyawa aktif seperti vitamin C dan flavonoid lebih mudah dilepaskan dan bereaksi dengan radikal bebas. Sebaliknya, AK6 yang hanya menggunakan kitosan membentuk matriks padat dan kurang permeabel, membatasi pelepasan senyawa aktif meskipun mampu mempertahankan stabilitas. Hal ini selaras dengan pendapat Xiao *et al.* (2014), bahwa struktur padat kitosan memperlambat pelepasan zat bioaktif. Aktivitas antioksidan juga



berkorelasi dengan hasil kadar vitamin C dan kelarutan tertinggi pada AK1 dan AK2. Alginat yang bersifat larut air berkontribusi pada pelepasan cepat senyawa aktif, berbeda dengan kitosan yang kurang larut pada pH netral (Chen *et al.*, 2016). Penelitian oleh Maleki *et al.* (2022) juga menunjukkan bahwa kitosan dalam konsentrasi tinggi memperlambat pelepasan senyawa bioaktif. Formulasi AK1 dan AK2 direkomendasikan untuk produk pangan fungsional, sedangkan AK6 lebih sesuai untuk pelepasan bertahap.

Efisiensi enkapsulasi, kelarutan, dan waktu larut merupakan parameter penting dalam evaluasi mikrokapsul ekstrak lemon yang dihasilkan melalui proses mikroenkapsulasi. Efisiensi enkapsulasi menunjukkan seberapa optimal senyawa aktif, seperti vitamin C, dapat tertahan dan terlindungi dalam matriks mikrokapsul, sehingga mempengaruhi stabilitas dan ketersediaan bioaktif dalam produk akhir. Sementara itu, kelarutan mikrokapsul menentukan kemampuan mikrokapsul untuk larut dalam media tertentu, yang berhubungan langsung dengan efektivitas pelepasan zat aktif saat digunakan. Waktu larut menjadi aspek krusial yang mengukur kecepatan pelepasan senyawa aktif dari mikrokapsul ke lingkungan sekitarnya, sehingga memengaruhi kinerja dan bioavailabilitas produk. Analisis tahap I ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai ketiga parameter tersebut, sekaligus memastikan bahwa mikrokapsul lemon memiliki daya tahan yang baik terhadap faktor lingkungan seperti suhu dan cahaya. Informasi rinci terkait hasil analisis efisiensi enkapsulasi, kelarutan, dan waktu larut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi analisis ragam Efisiensi enkapsulasi, Kelarutan dan Waktu larut

Perlakuan	Parameter Penelitian		
	Efisiensi enkapsulasi (%)	kelarutan (%)	waktu larut (menit)
AK1	72,43 ± 0,10 <sup>c</sup>	93,54 ± 1,02 <sup>d</sup>	1,62 ± 0,03 <sup>f</sup>
AK2	70,81 ± 0,48 <sup>c</sup>	93,27 ± 0,94 <sup>d</sup>	1,43 ± 0,03 <sup>e</sup>
AK3	74,03 ± 0,05 <sup>c</sup>	92,81 ± 0,46 <sup>cd</sup>	1,37 ± 0,04 <sup>d</sup>
AK4	73,10 ± 0,24 <sup>c</sup>	92,21 ± 0,57 <sup>bc</sup>	1,20 ± 0,02 <sup>c</sup>
AK5	57,30 ± 2,73 <sup>b</sup>	91,53 ± 0,43 <sup>ab</sup>	1,12 ± 0,01 <sup>b</sup>
AK6	32,19 ± 9,15 <sup>a</sup>	91,22 ± 0,09 <sup>a</sup>	1,03 ± 0,02 <sup>a</sup>

Keterangan: Perlakuan kombinasi perbandingan alginat dan kitosan, yaitu AK1 (1:0,5), AK2 (1:1), AK3 (1:1,5), AK4 (1:2), AK5 (1:0), dan AK6 (0:1)

### Efisiensi enkapsulasi

Perbandingan bahan penyalut alginat dan kitosan berpengaruh sangat nyata ( $P < 0,01$ ) terhadap efisiensi enkapsulasi mikrokapsul ekstrak lemon, dengan rentang nilai 32,19 ± 9,15<sup>a</sup> hingga 74,03 ± 0,05<sup>c</sup>. Nilai tertinggi diperoleh pada AK3 (1:1,5) sebesar 74,03%, diikuti AK4, AK2, dan AK1. Sementara itu, nilai terendah tercatat pada AK6 (kitosan murni) sebesar 32,19%, menunjukkan bahwa rasio bahan sangat memengaruhi keberhasilan proses mikroenkapsulasi. Efisiensi enkapsulasi (EE) menunjukkan persentase senyawa aktif yang berhasil dikapsulkan. Nilai tinggi menandakan perlindungan optimal terhadap degradasi senyawa aktif seperti flavor dan antioksidan. Xiao *et al.* (2014) menyatakan bahwa nilai EE di atas 60% umumnya dianggap baik untuk aplikasi pangan. Berdasarkan



hal ini, formulasi AK1–AK4 termasuk sangat baik, AK5 cukup baik, dan AK6 kurang efektif. Hasil uji efisiensi enkapsulasi mikrokapsul lemon lokal dapat dilihat pada Tabel 3.

Kombinasi alginat-kitosan dalam rasio seimbang (AK3 dan AK4) menghasilkan matriks polielektrolit kompleks yang stabil karena interaksi antara gugus  $-\text{COO}^-$  dari alginat dan  $-\text{NH}_3^+$  dari kitosan (Li *et al.*, 2007). Struktur ini mampu menangkap senyawa aktif dengan lebih efisien dibandingkan jika hanya menggunakan satu jenis polimer. Formulasi tunggal seperti AK5 dan AK6 menghasilkan matriks yang lebih porus atau kurang stabil. Menurut Nemickaite *et al.* (2025), sistem kombinasi dapat mencapai efisiensi hingga 80%, sementara penggunaan tunggal menurunkan efektivitas. Oleh karena itu, AK3 dan AK4 direkomendasikan untuk aplikasi produk minuman fungsional karena menghasilkan mikrokapsul yang stabil dan sesuai standar efisiensi tinggi.

### Kelarutan

Variasi rasio alginat dan kitosan berpengaruh sangat nyata ( $P < 0,01$ ) terhadap kelarutan mikrokapsul ekstrak lemon. Nilai kelarutan berkisar antara  $91,22 \pm 0,09^a$  hingga  $93,54 \pm 1,02^d$ , dengan nilai tertinggi pada AK1 (1:0,5) sebesar 93,54%, disusul AK2 (1:1) sebesar 93,27%. Keduanya berbeda nyata dibanding AK6 (0:1) yang memiliki kelarutan terendah (91,22%). Tingkat kelarutan penting dalam aplikasi produk instan karena menentukan efisiensi pelepasan senyawa aktif ke dalam medium air, serta mencegah terbentuknya endapan saat penyajian. Hasil uji kadar kelarutan mikrokapsul lemon lokal dapat dilihat pada Tabel 3.

Formulasi dengan proporsi alginat lebih tinggi menghasilkan kelarutan lebih baik karena sifat hidrofilik dan struktur gel terbuka dari alginat, yang mempermudah larut dalam air. Sebaliknya, kitosan yang bersifat kationik membentuk struktur lebih padat dan sulit larut, sehingga menghambat pelepasan senyawa aktif. Penelitian Wani *et al.* (2023) mendukung hal ini, menunjukkan bahwa peningkatan kadar alginat mempercepat pelarutan mikrokapsul, sedangkan kitosan lebih cocok untuk pelepasan bertahap. Kelarutan juga berkaitan dengan kadar air. Mikrokapsul dengan kadar air lebih rendah cenderung lebih cepat larut karena strukturnya lebih kering dan mudah menyatu dengan air. Formulasi AK1 dan AK2 memiliki kadar air rendah dan kelarutan tinggi, menunjukkan performa optimal. Berdasarkan hasil tersebut, AK1 dan AK2 merupakan pilihan ideal untuk produk minuman atau makanan instan berbasis flavor alami karena mampu memenuhi standar SNI ( $>90\%$ ) dan mendekati kelarutan ideal industri ( $>93\%$ ).

### Waktu larut

Hasil analisis menunjukkan bahwa rasio alginat dan kitosan berpengaruh sangat nyata ( $P < 0,01$ ) terhadap waktu larut mikrokapsul lemon lokal, dengan rentang antara  $1,03 \pm 0,02^a$  hingga  $1,62 \pm 0,03^f$  menit. Formulasi AK6 (0:1) menunjukkan waktu larut tercepat sebesar  $1,03 \pm 0,02^a$  menit, diikuti AK5 dan AK4 masing-masing  $1,12 \pm 0,01^b$  dan  $1,20 \pm 0,02^c$  menit. Sementara itu, AK1 (1:0,5) memiliki waktu larut terlama yaitu  $1,62 \pm 0,03^f$  menit. Semakin tinggi proporsi kitosan, semakin cepat waktu larut. Hal ini disebabkan oleh sifat kitosan yang kationik,

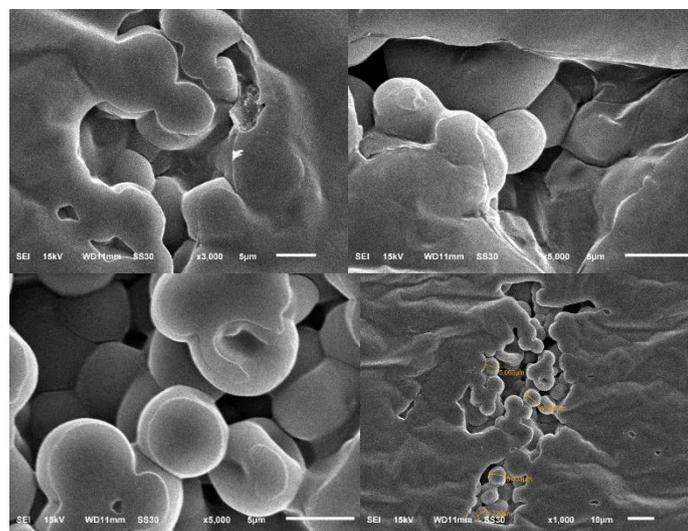


cepat menyerap air, dan membentuk dinding kapsul yang tipis serta permeabel. Sebaliknya, alginat cenderung membentuk struktur lebih padat dan lambat menyerap air, sehingga memperlambat pelarutan. Hasil uji waktu larut mikrokapsul lemon lokal dapat dilihat pada Tabel 3.

Waktu larut merupakan parameter penting dalam produk instan. Berdasarkan SNI 2973:2011, waktu larut ideal adalah kurang dari 2 menit, dan seluruh formulasi memenuhi syarat ini. AK6 juga memiliki kadar air rendah dan kelarutan baik, namun efisiensi enkapsulasi serta aktivitas antioksidannya rendah. Dengan demikian, formulasi terbaik harus mempertimbangkan keseimbangan antara kecepatan larut, perlindungan senyawa aktif, dan stabilitas produk. Formulasi AK1–AK3 direkomendasikan karena memiliki waktu larut yang ideal serta efisiensi enkapsulasi dan aktivitas antioksidan lebih tinggi, menjadikannya pilihan terbaik untuk minuman instan berbasis flavor alami.

### Morfologi mikrokapsul berdasarkan SEM

Analisis morfologi mikrokapsul dilakukan menggunakan SEM pada formulasi AK1 (1:0,5) sebagai perlakuan terbaik. Citra menunjukkan mikrokapsul berbentuk bulat tidak beraturan dengan permukaan relatif halus dan ukuran partikel berkisar 3,72–6,00  $\mu\text{m}$ . Pada perbesaran tinggi, permukaan terlihat padat, rapat, dan tidak berpori, menandakan bahwa pelapisan bahan aktif berlangsung efektif dan merata. Hasil analisa SEM mikrokapsul lemon lokal dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil analisis SEM Mikrokapsul Lemon Lokal

Struktur halus dan rapat menunjukkan bahwa sistem penyalut alginat-kitosan mampu membentuk matriks pelindung yang baik. Menurut Khasanah *et al.* (2015), morfologi tanpa kerutan menandakan efisiensi pelapisan tinggi, sedangkan permukaan kasar atau berpori menunjukkan pelapisan tidak sempurna. Hasil ini sesuai dengan efisiensi enkapsulasi tinggi (72,43%), aktivitas antioksidan kuat (43 ppm), dan kelarutan tinggi (>93%) yang dicapai oleh AK1. Yousefi *et al.* (2020) menyatakan bahwa rasio optimal alginat dan kitosan menghasilkan mikrokapsul berbentuk bulat, halus, dan stabil terhadap degradasi senyawa aktif. Sementara itu, Edris *et al.* (2016) menyebutkan



bahwa kombinasi ini mampu membentuk dinding kapsul padat dan berlapis, yang memungkinkan pelepasan senyawa aktif secara bertahap. Dengan demikian, hasil SEM AK1 menunjukkan keberhasilan proses mikroenkapsulasi baik secara visual maupun fungsional.

### Hasil Analisis Tahap II Stabilitas Mikroenkapsul Lemon Lokal

Hasil analisis tahap II mengenai stabilitas mikroenkapsul lemon lokal disajikan pada Tabel 4. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan mikrokapsul dalam mempertahankan karakteristik fisik maupun kandungan bioaktifnya selama penyimpanan. Stabilitas yang baik menunjukkan bahwa proses mikroenkapsulasi berhasil melindungi senyawa aktif lemon lokal sehingga kualitas produk tetap terjaga.

Tabel 4. Rekapitulasi analisis ragam Stabilitas Mikroenkapsul

Perlakuan	Vitamin C (mg/g)	IC <sub>50</sub> (ppm)	Rasa	Aroma
T1W1	21,59 ± 0,15 <sup>a</sup>	42,92 ± 0,26 <sup>a</sup>	1,84 ± 0,78 <sup>a</sup>	2,04 ± 0,77 <sup>cd</sup>
T1W2	18,62 ± 0,15 <sup>a</sup>	43,52 ± 0,43 <sup>ab</sup>	1,96 ± 0,87 <sup>a</sup>	2,36 ± 0,79 <sup>def</sup>
T1W3	16,84 ± 0,15 <sup>b</sup>	44,50 ± 0,55 <sup>bc</sup>	2,20 ± 0,75 <sup>a</sup>	2,12 ± 0,32 <sup>cd</sup>
T2W1	20,26 ± 0,30 <sup>a</sup>	43,56 ± 0,04 <sup>ab</sup>	3,20 ± 0,80 <sup>b</sup>	2,60 ± 0,75 <sup>ef</sup>
T2W2	18,18 ± 0,00 <sup>b</sup>	44,50 ± 0,13 <sup>bc</sup>	3,20 ± 0,80 <sup>b</sup>	2,76 ± 0,86 <sup>f</sup>
T2W3	15,50 ± 0,00 <sup>c</sup>	45,39 ± 0,00 <sup>c</sup>	2,84 ± 0,67 <sup>b</sup>	1,84 ± 0,73 <sup>bc</sup>
T3W1	18,92 ± 0,15 <sup>b</sup>	44,41 ± 0,04 <sup>bc</sup>	2,00 ± 0,89 <sup>a</sup>	2,20 ± 0,75 <sup>cde</sup>
T3W2	16,84 ± 0,15 <sup>b</sup>	45,26 ± 0,13 <sup>c</sup>	2,16 ± 0,88 <sup>a</sup>	1,40 ± 0,49 <sup>a</sup>
T3W3	14,02 ± 0,00 <sup>c</sup>	45,43 ± 0,04 <sup>c</sup>	2,16 ± 0,78 <sup>a</sup>	1,52 ± 0,50 <sup>ab</sup>

Keterangan : Suhu terdiri dari tiga taraf: T1 (40°C), T2 (60°C), dan T3 (80°C). Waktu terdiri dari tiga taraf: W1 (5 menit), W2 (15 menit), dan W3 (25 menit). Kombinasi kedua faktor menghasilkan sembilan perlakuan (T1W1 hingga T3W3)

### Vitamin C

Analisis menunjukkan bahwa suhu dan waktu pemanasan berpengaruh sangat nyata terhadap kadar vitamin C mikrokapsul lemon. Kadar tertinggi tercatat pada T1W1 (40°C, 5 menit) sebesar 21,59 ± 0,15<sup>a</sup> mg/g, sedangkan terendah pada T3W3 (80°C, 25 menit) sebesar 14,02 ± 0,00<sup>c</sup> mg/g. Semakin tinggi suhu dan lama pemanasan, kadar vitamin C cenderung menurun signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa vitamin C bersifat termolabil dan mudah terdegradasi pada suhu di atas 60°C, khususnya jika dipanaskan lebih dari 10 menit. Hasil uji stabilitas vitamin C mikrokapsul lemon lokal dapat dilihat pada Tabel 4.

Penurunan kadar vitamin C secara bertahap terjadi pada semua suhu seiring lamanya waktu pemanasan. Sebagai contoh, pada suhu 40°C kadar menurun dari 21,59 ± 0,15<sup>a</sup> menjadi 16,84 ± 0,15<sup>b</sup> mg/g (↓22%) saat waktu ditingkatkan dari 5 ke 25 menit. Penurunan ini diperkuat oleh penelitian Rahmiati *et al.* (2024) dan Chen (2016), yang menyatakan bahwa pemanasan mempercepat degradasi senyawa bioaktif dalam mikrokapsul. Meski begitu, bahan pelapis seperti kombinasi alginat-kitosan turut berperan dalam mempertahankan stabilitas vitamin C.



Kombinasi ini dapat membentuk matriks pelindung yang cukup efektif, walaupun efektivitasnya menurun drastis pada suhu tinggi. Strategi pascaproduksi suhu rendah dan waktu singkat, seperti pada T1W1, sangat disarankan untuk menjaga kualitas vitamin C, khususnya untuk produk fungsional berbasis lemon.

### IC<sub>50</sub>

Penelitian menunjukkan bahwa suhu dan waktu pemanasan berpengaruh sangat nyata terhadap nilai IC<sub>50</sub> mikrokapsul lemon, dengan kisaran  $42,92 \pm 0,26^a$  hingga  $45,43 \pm 0,04^c$  ppm. Nilai IC<sub>50</sub> terendah (aktivitas antioksidan tertinggi) terdapat pada perlakuan T1W1 (40°C, 5 menit), sedangkan nilai tertinggi pada T3W3 (80°C, 25 menit). Seluruh perlakuan masih tergolong antioksidan sangat kuat (IC<sub>50</sub> < 50 ppm), sesuai klasifikasi SNI. Hasil uji stabilitas IC<sub>50</sub> mikrokapsul lemon lokal dapat dilihat pada Tabel 4.

Peningkatan IC<sub>50</sub> dipicu oleh degradasi senyawa aktif seperti vitamin C, polifenol, dan terpenoid akibat suhu tinggi dan lama pemanasan. Namun, kenaikan IC<sub>50</sub> relatif kecil ( $\pm 2,5$  ppm), menandakan bahan pelapis alginat–kitosan cukup efektif melindungi senyawa aktif dari kerusakan termal. Interaksi polielektrolit antara alginat (anionik) dan kitosan (kationik) membentuk gel padat yang memperlambat difusi dan kerusakan senyawa. Efektivitas perlindungan ini diperkuat oleh hasil studi sebelumnya seperti Lai *et al.* (2017) dan Savic *et al.* (2022). Dibandingkan produk sejenis, mikrokapsul ini memiliki aktivitas antioksidan yang lebih baik. Maka, perlakuan T1W1 direkomendasikan untuk produk pangan fungsional yang membutuhkan pelepasan cepat dan stabilitas antioksidan tinggi. Sementara suhu lebih tinggi dapat digunakan untuk sistem pelepasan bertahap.

### Rasa

Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan suhu dan waktu pemanasan memberikan pengaruh sangat nyata ( $P < 0,01$ ) terhadap skor rasa mikrokapsul lemon lokal. Skor rata-rata berkisar antara 1,84 hingga 3,20 (Tabel 2), dengan skala 1–4 (1 = tidak terasa lemon, 4 = sangat terasa khas lemon). Perlakuan T2W1 dan T2W2 (60°C, 5 dan 15 menit) menunjukkan skor tertinggi yaitu 3,20, termasuk kategori "rasa khas lemon". Hal ini menunjukkan bahwa suhu sedang dalam waktu singkat–sedang mampu mempertahankan senyawa penyusun rasa khas lemon secara optimal. Sebaliknya, skor terendah diperoleh pada T1W1 (40°C, 5 menit) sebesar 1,84. Uji DMRT menunjukkan bahwa T2W1 dan T2W2 berbeda nyata secara statistik dan menjadi perlakuan terbaik dalam menjaga rasa. Sebaliknya, suhu tinggi seperti pada T3W2 dan T3W3 (80°C, 15–25 menit) menurunkan skor rasa secara signifikan ke nilai sekitar 2,16. Penurunan ini dapat disebabkan oleh degradasi senyawa penyusun rasa seperti *citral* dan *limonene*, yang memiliki volatilitas tinggi dan mudah rusak saat pemanasan berlebih (Reineccius, 2006). Hasil uji skoring rasa mikrokapsul lemon lokal dapat dilihat pada Tabel 4.

Reaksi pencoklatan non-enzimatis seperti Maillard reaction juga dapat memengaruhi persepsi rasa segar. Selain itu, efektivitas bahan pelapis turut berperan; kombinasi alginat–kitosan yang stabil pada suhu sedang dapat mempertahankan senyawa rasa dan memungkinkan flavor release optimal saat konsumsi (Estevinho *et al.*, 2016;



Liu *et al.*, 2017). Dengan demikian, T2W1 dan T2W2 direkomendasikan sebagai perlakuan terbaik karena menghasilkan skor rasa mendekati “khas lemon” dan berbeda nyata dari perlakuan lain.

### Aroma

Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa suhu dan waktu pemanasan berpengaruh sangat nyata ( $P < 0,01$ ) terhadap skor aroma mikrokapsul lemon lokal. Skor aroma berkisar antara 1,40 hingga 2,76 pada skala 1–4, di mana nilai tertinggi (2,76) diperoleh dari perlakuan suhu  $60^{\circ}\text{C}$  selama 15 menit (T2W2), mendekati kategori “beraroma khas lemon.” Hal ini mengindikasikan bahwa senyawa volatil penyusun aroma seperti *limonene* dan *citral* masih stabil pada kondisi tersebut. Sebaliknya, skor aroma terendah (1,40) dicapai pada suhu  $80^{\circ}\text{C}$  selama 15 menit (T3W2), menunjukkan degradasi senyawa aroma akibat suhu tinggi. Hasil uji skoring aroma mikrokapsul lemon lokal dapat dilihat pada Tabel 4.

Uji lanjut dengan Duncan Multiple Range Test (DMRT) menunjukkan bahwa perlakuan T2W2 berbeda nyata dari hampir semua perlakuan lain, tergolong dalam kelompok notasi “e”. Suhu pemanasan sedang ( $60^{\circ}\text{C}$ ) dan waktu 15 menit dianggap optimal dalam mempertahankan aroma mikrokapsul. Penurunan aroma pada suhu tinggi diduga disebabkan oleh meningkatnya volatilitas senyawa aroma, yang menyebabkan penguapan atau degradasi. Baldwin *et al.* (2000) menyatakan bahwa senyawa seperti *limonene* dan *linalool* sangat rentan terhadap kerusakan termal, dan menurut Reineccius (2006), proses termal yang intensif mempercepat degradasi senyawa aroma. Selain itu, efektivitas bahan pelapis seperti alginat dan kitosan turut berperan penting dalam mempertahankan kestabilan senyawa aroma. Kombinasi bahan pelapis yang tepat serta kondisi pemanasan yang sesuai membantu membentuk matriks pelindung yang optimal. Dengan demikian, perlakuan T2W2 dinilai sebagai kombinasi terbaik untuk mempertahankan aroma khas lemon pada mikrokapsul.

### Identifikasi komponen flavor terduga dengan GC-MS

Aroma khas pada produk makanan dan tanaman banyak dipengaruhi oleh senyawa volatil yang dikenal sebagai flavor, yaitu metabolit sekunder yang mudah menguap. Senyawa-senyawa ini tidak hanya menentukan citarasa, tetapi juga memiliki peranan penting dalam aktivitas biologis tanaman. Oleh karena itu, analisis komponen flavor menjadi langkah krusial dalam mengevaluasi kualitas mikrokapsul lemon lokal. Dengan menggunakan teknik Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS), dapat diidentifikasi berbagai senyawa volatile yang terkandung dalam mikrokapsul, sehingga memberikan informasi detail mengenai komposisi kimia dan potensi aroma yang dihasilkan.

Senyawa flavor juga berkontribusi terhadap fungsi bioaktif tanaman, sehingga keberadaannya menjadi salah satu indikator penting dalam menilai kualitas mikrokapsul lemon lokal yang dihasilkan. Hasil identifikasi komponen flavor terduga pada mikrokapsul lemon lokal disajikan pada Tabel 3.



Tabel 5. Hasil Identifikasi komponen flavor terduga pada mikrokapsul lemon lokal.

No	Waktu Retensi	Area (%)	Nama Komponen
1	4.62	28.22	1-methyl-4-(1-methylethenyl) cyclohexene
2	5.26	1.23	Ascaridole epoxide
3	5.50	1.76	2-Methoxy-4-vinylphenol
4	7.61	0.27	Palmitic acid (n-Hexadecanoic acid)
5	13.10	10.74	(2E)-3,7-dimethylocta-2,6-dien-1-ol
6	13.66	1.82	2H-1-Benzopyran-2-one,5,7-dimethoxy
7	15.64	1.18	$\beta$ -Sitosterol
8	15.35	26.12	3,7-dimethyl-2,6-octadienal
9	32.20	5.85	(3S)-3,7-dimethylocta-1,6-dien-3-ol

Berdasarkan Tabel 5, identifikasi flavor pada mikrokapsul lemon lokal dilakukan dengan GC-MS terhadap perlakuan terbaik (T1W1, 40°C 5 menit). Flavor merupakan metabolit sekunder volatil yang berperan dalam aroma dan fungsi bioaktif tanaman (Marfina, 2019). Hasilnya menunjukkan 9 senyawa terduga, dominan dari golongan monoterpen, alkohol, aldehyd, dan fenol aromatik. Senyawa dengan area terbesar adalah 1-methyl-4-(1-methylethenyl)cyclohexene (28,22%) yang merupakan isomer *limonene*, beraroma citrus dan bersifat antibakteri (Evama *et al.*, 2021). *Citral* (26,12%) sebagai komponen kedua terbanyak, memiliki aroma tajam khas lemon dan dikenal stabil serta antimikroba (Nisyak & Hartiningsih, 2020). Geraniol (10,74%) memberi aroma bunga manis dan bersifat antioksidan (Ibrahim *et al.*, 2021), sementara linalool (5,85%) memiliki aroma lembut dan berfungsi sebagai relaksan. Senyawa minor lainnya seperti 2-methoxy-4-vinylphenol dan ascaridole epoxide menunjukkan potensi bioaktif tambahan. Komponen non-volatil seperti palmitic acid dan  $\beta$ -sitosterol juga terdeteksi, memperkaya aspek fungsional ekstrak. Profil ini menunjukkan bahwa ekstrak lemon lokal mengandung flavor alami potensial untuk industri pangan fungsional karena aroma khas dan kandungan senyawa bioaktif pelindung (Wijayakusuma, 2005; Wulandari & Harianingsih, 2018).

## KESIMPULAN

Perlakuan terbaik adalah kombinasi alginat:kitosan (1:0,5) dengan rendemen 47,33%, kadar air 2,99%, vitamin C 15,40 mg/g, IC<sub>50</sub> 43,00 ppm, efisiensi 72,43%, kelarutan 93,54%, dan waktu larut 1,62 menit. Mikrokapsul ini diuji stabilitasnya terhadap suhu (40°C, 60°C, 80°C) dan waktu pemanasan (5, 15, 25 menit). Hasil menunjukkan suhu dan waktu berpengaruh sangat nyata ( $P < 0,01$ ) terhadap kadar vitamin C, IC<sub>50</sub>, aroma, dan rasa. Perlakuan T1W1 (40°C, 5 menit) menunjukkan stabilitas tertinggi, sedangkan T3W3 (80°C, 25 menit) mengalami penurunan signifikan. GC-MS pada T1W1 mengidentifikasi senyawa dominan 1-methyl-4-(1-methylethenyl)cyclohexene sebesar 28,22%. Kombinasi alginat-kitosan terbukti efektif membentuk mikrokapsul perisa lemon lokal yang stabil dan potensial sebagai bahan tambahan alami dalam produk pangan.



---

---

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Samman, M., & Sánchez, A. 2022. Chitosan And Alginate-Based Microencapsulation For Food Applications: Mechanisms And Functionality. *Food Hydrocolloids*, 129: 107610. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107610>
- AOAC. 1990. Official Method of Analysis of Association Official Agriculture Chemist.
- AOAC. 2005. Official methods of analysis (18th ed.). Washington DC: Association of Official Analytical Chemists.
- Bagus Yogaswara, I., Made Wartini, N., & Putu Wrasiasi, L. 2017. Karakteristik Enkapsulat Ekstrak Pewarna Buah Pandan (*Pandanus tectorius*) Pada Perlakuan Enkapsulan Gelatin Dan Maltodekstrin. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*, 5(4): 31–40.
- Cao, H. 1999. Controlled release of insulin from kitosan–alginat microcapsule. *Ion Exchange and Adsorption*, 15(2): 120–126.
- Chen, H., & Hu, X. 2016. Facile fabrication of tea tree oil-loaded antibacterial microcapsules with kitosan and alginat via electrostatic interaction. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 145: 653–669. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2016.05.070>
- Dali, A., Miranda, W. O. Y., & Dali, N. 2017. Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Metanol Daun Pecah Beling (*Strobilanthes crispus*). *Al-Kimia*, 5(2): 145–153.
- Dusun, C. C., Kurniawan, E., & Setyawan, A. D. 2020. Review: Penggunaan flavor alami sebagai alternatif flavor sintetis dalam pangan. *Jurnal Pangan Fungsional*, 5(1): 1–10.
- Edris, A. E., Kalemba, D., Adamiec, J., & Piątkowski, M. 2016. Microencapsulation Of Natural Volatile Compounds: A Review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 66(3): 157–165. <https://doi.org/10.1515/pjfn-2015-0057>
- Estevinho, B., Carlan, I. C., Blaga, A., & Rocha, F. 2016. Soluble Vitamins (vitamin B12 and vitamin C) Microencapsulated With Different Biopolymers By A Spray Drying Process. *Powder Technology*, 289: 71–80. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.11.019>
- Evama, A., Sulistiyani, S., & Wahyuni, S. 2021. Analisis Kandungan Senyawa Minyak Atsiri Daun Jeruk Purut (*Citrus hystrix*) dengan GC-MS dan Aktivitas Antibakteri Terhadap *Escherichia coli*. *Jurnal Ilmu Dasar dan Terapannya Sains*, 2(1): 35–41.
- Gardjito, M., & Enkapinia, N. M. 2006. Mikroenkapsulasi B-Karoten Buah Labu Kuning Dengan Enkapsulan Whey Dan Karbohidrat. *Jurnal Buah Labu Pertanian Universitas Mulawarman*, 2(1): 13–18.
- Gregory, J. F., & Fennema, O. R. 2020. *Food chemistry* (5th ed.). CRC Press.
- Hamidi, N., Fitriani, L., & Siregar, L. A. M. 2016. Kandungan Kimia Buah Lemon Lokal (*Citrus limon* L.) sebagai Sumber Antioksidan. *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*, 1(2): 35–42.



- Herbig, A. L., & Renard, C. M. G. C. 2017. Factors That Affect Stability And Bioaccessibility Of Vitamin C In Food: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(12): 2415–2432. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1067593>
- Ibrahim, A. M., Feronika, S., & Yunita. 2015. Pengaruh Suhu Dan Lama Waktu Ekstraksi Terhadap Sifat Kimia Dan Fisik Pada Pembuatan Minuman Sari Jahe Dengan Kombinasi Penambahan. *Pangan dan Agroindustri*, 3(2): 530–541. <https://doi.org/10.33651/ptm.v4i1.598>
- Ibrahim, M. A., Sallem, O. W., Abdelhassib, M. R., & Eldahshan, O. A. 2021. Potentiation Of Anti-Helicobacter Pylori Activity Of (*Pelargonium graveolens*) Oil. *Biologia*, 76(5): 1389–1397. <https://doi.org/10.1007/s11756-021-00693-6>
- Julyantika, P., Dewi, N., Ganda Putra, G. P., & Suhendra, L. 2022. Kajian Pengaruh Jenis Pelarut Dan Lama Maserasi Terhadap Karakteristik Dan Stabilitas Ekstrak Jeruk Limau (*Citrus amblycarpa*) Sebagai Antioksidan Alami Pada Makanan. *Media Ilmiah Teknologi Pangan*, 9(1): 1–14.
- Khasanah, L. N., Dewi, R. S., & Pratama, R. I. 2015. Karakteristik Fisik Dan Morfologi Mikrokapsul Maltodekstrin Perisa Kopi Hasil Spray Drying. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 3(3): 937–945.
- Lai, W. T., Hsu, C. C., & Pan, T. M. 2017. Encapsulation Of Probiotics In Alginate–Chitosan Capsules Improves Survival In Simulated Gastrointestinal Conditions. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33(1): 8. <https://doi.org/10.1007/s11274-016-2170-6>
- Li, X., Jin, L., McAllister, T. A.. 2007. Kitosan-alginat Microcapsules For Oral Delivery Of Egg Yolk Immunoglobulin (IgY). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(8): 2911–2917. <https://doi.org/10.1021/jf062900q>
- Maleki, G., Woltering, E., & Mozafari, M. R. 2022. Applications Of Kitosan-Based Carrier As An Encapsulating Agent In Food Industry. *Trends in Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.001>
- Maharani, D. 2012. Teknik Spray Drying Untuk Pembuatan Mikrokapsul Flavor. Pustaka Sinar Harapan. Yogyakarta
- Millan, A. M., & Puspita, M. 2019. Aplikasi Teknologi Mikroenkapsulasi Untuk Senyawa Bioaktif Dalam Pangan Fungsional. *Jurnal Teknologi Pangan*, 13(2): 89–97.
- Miranti, M., Winarni, A., & Fadillah, R. 2021. Stabilitas Perisa Bubuk Terhadap Kondisi Penyimpanan. *Jurnal Teknologi Pangan*, 2(1): 12–19.
- Nemickaite, E., Žlabienė, U., & Bernatoniene, J. 2025. Formulation of W/O/W Emulsion-Based Kitosan-Alginat Microcapsules For Encapsulation Of Cannabidiol And A. Annu Extract. *Pharmaceutics*, 17(3): 344-350 <https://doi.org/10.3390/Pharmaceutics17030309>
- Ningtyas, P. D. 2023. Penurunan Kadar Vitamin C Pada Pemanasan Buah Lemon. *Jurnal Gizi dan Pangan*, 18(2): 88–95.
- Nisyak, K., & Hartiningsih, S. 2020. Aktivitas Antibakteri Minyak Serai Dapur Dan Minyak Adas Terhadap *Staphylococcus aureus* di ruang rawat inap rumah sakit. *Jurnal Kedokteran Brawijaya*, 31(1): 56–60.



- Nugraha, D., Rahmani, L., & Yusuf, A. 2018. Formulasi Granul Effervescent Ekstrak Daun Pepaya Gantung (*Carica papaya* L). *Jurnal Kesehatan STIKes Muhammadiyah*, 1(2): 14–28. [www.indomediapustaka.com](http://www.indomediapustaka.com)
- Papoutsis, K., Golding, J. B., Vuong, Q., Pristijono, P., Stathopoulos, C. E., Scarlett, C. J., & Bowyer, M. 2018. Encapsulation Of Citrus By-Product Extracts By Spray-Drying And Freeze-Drying Using Combinations Of Maltodextrin With Soybean Protein And I-Carrageenan. *Foods*, 7(7): 115 <https://doi.org/10.3390/foods7070115>
- Rahmiati, N., Sari, R., Wahyuni, T. S., & Lestari, M. L. A. D. 2024. Enhancing Antioxidant Properties Of Lime Juice Powder Through Polyelectrolyte Microparticles Of Kitosan-Alginat: Formulation, characterization and stability study. *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research*, 15: 231–236. [https://doi.org/10.4103/JAPTR.JAPTR\\_556\\_23](https://doi.org/10.4103/JAPTR.JAPTR_556_23)
- Reineccius, G. A. 2006. *Flavor chemistry and technology* (2nd ed.). CRC Press.
- Rosenberg, M., Kopelman, I. J., & Talmon, Y. 2016. A Scanning Electron Microscopy Study Of Microencapsulation. *Journal of Food Science*, 55(5): 1394–1399.
- Saraswati, I. 2022. *Studi Waktu Ekstraksi Dan Perbandingan Gelatin Dengan Maltodekstrin Pada Mikrokapsul Minuman Instan Kombinasi Ekstrak Daun Beluntas Dan Batang Serai*. [Tesis]. Universitas Udayana.
- Savic, I. 2022. Optimization Of Ultrasound-Assisted Extraction. <https://doi.org/10.3390/antiox11020297>
- Sinurat, F. E., & Marliani, R. 2017. Aplikasi natrium alginat dalam industri pangan dan farmasi. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 28(1): 1–7.
- Soekarto. 1985. *Penelitian Organoleptik Untuk Industri Pangan Dan Hasil Pertanian*. Bharatara Karya Aksara. Jakarta
- Sofyaningsih, E. 2018. Pengaruh Metode Spray Drying Terhadap Karakteristik Mikrokapsul Perisa Alami. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 19(3): 153–160.
- Sofyaningsih, M., & Iswahyudi. 2018. Microencapsulation Of Red Dragon Fruit Skin Extract With Spray Drying Technique. *ARGIPA*, 3(1): 1–7.
- Wang, Y., Tan, C., Davachi, S. M., Li, P., Davidowsky, P., & Yan, B. 2021. Development Of Microcapsules Using Kitosan and Alginat Via W/O Emulsion. *International Journal of Biological Macromolecules*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.02.089>
- Wani, S., Ali, M., Mehdi, S., & Masoodi, M. H. 2023. A Review On Kitosan And Alginat-Based Microcapsules: Mechanism And Applications In Drug Delivery Systems. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125875.
- Wati, N., & Chaerunisaa, Y. 2020. Formulasi Mikrokapsul Ekstrak Manggis Dengan Kombinasi Kitosan Dan Alginat. *Jurnal Farmasi Indonesia*, 10(1): 33–40.



- Widowati, R. 2022. Pemanfaatan Perisa Lemon Pada Produk Teh Celup Kelor. [Skripsi]. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Wijayakusuma. 2005. Fisiologi Kedokteran. EGC. Jakarta
- Wirjosentono, B., Suyatman, R., & Purnama, T. 2020. Sifat Biodegradabilitas Kitosan Dalam Aplikasi Pangan. Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan, 15(2): 110–116.
- Wulandari, R., & Harianingsih, H. 2017. Identifikasi GC-MS ekstrak minyak atsiri dari serih wangi (*Cymbopogon winterianus*) menggunakan pelarut metanol. Techno: Jurnal Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Purwokerto, 18(1): 23–27. <https://jurnalnasional.ump.ac.id/index.php/Techno/article/view/1445>
- Xiao, Z., Long, H., & Zhu, G. 2014. The Preparation And Properties Of Three Types Of Microcapsules Of Sweet Orange Oil Using Alginat And Kitosan As Wall Material. Flavour and Fragrance Journal, 29(6): 350–355. <https://doi.org/10.1002/ffj.3212>
- Yousefi, M., Ehsani, M. R., Golmakani, M. T., & Ghanbarzadeh, B. 2020. Optimization Of Alginate–Chitosan Microcapsules For Encapsulation Of Saffron Extract: Physicochemical and Antioxidant Properties. International Journal of Biological Macromolecules. 148: 1000–1012. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.117>