

## Optimasi Pembuatan *Heat Sealable Film* dari Kolang-Kaling sebagai Bahan Kemasan

[*Optimization of Heat Sealable Film Based on Sugar Palm Fruit as Food Packaging*]

Olifia Mutiara Sandi<sup>1)</sup>, Tjahja Muhandri<sup>2)\*</sup>, dan Nugraha Edhi Suyatma<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Ilmu Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University, Bogor, Indonesia

<sup>2)</sup> Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University, Bogor, Indonesia

Diterima 5 Januari 2024 / Direvisi 27 Maret 2024 / Disetujui 16 April 2024

### ABSTRACT

The sugar palm fruit (*Arenga pinnata* Merr.) has a great potential to be widely used in food industries due to its galactomannan that is able to form stable gels at high temperatures and produce excellent film properties. This study aimed to determine the optimum formula of edible films made from sugar palm fruit blended with carboxymethyl cellulose (CMC), beeswax, and glycerol, and then used them as food packaging. The independent variables included CMC concentration was 2–4% (w/v), beeswax concentration was 0.5–2% (w/v) and glycerol concentration was 1–2% (v/v). Sugar palm fruit 10 g and 100 mL of distilled water were set as fixed variables. The quality of the films was observed including thickness, heat sealability, water vapor transmission rate (WVTR), and solubility. The optimum formula was achieved as follows: 3.11% (w/v) CMC, 2.00% (w/v) beeswax, and 1.00% (v/v) glycerol. The optimum formula of edible film was thickness of 0.15 mm, heat sealability of 115.51 N/m, WVTR value of 2.86 g/m<sup>2</sup>/h, and solubility of 75.61%. Based on the characteristics of dissolution time test showed that the edible pouch took 2.5 min to dissolved.

**Keywords:** beeswax, edible film, heat sealable, optimization, sugar palm fruit

### ABSTRAK

Kolang-kaling (*Arenga pinnata* Merr.) berpotensi untuk dimanfaatkan secara luas dalam industri pangan karena senyawa galaktomanan pada kolang-kaling dapat membentuk gel yang stabil pada suhu tinggi. Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan *edible film* dengan kombinasi formula terbaik menggunakan kombinasi kolang-kaling dengan *carboxymethyl cellulose* (CMC), lilin lebah, dan gliserol, serta mengaplikasikannya sebagai kantong pengemas pangan. Variabel independen yang digunakan untuk optimasi adalah CMC 2–4% (b/v), lilin lebah dengan konsentrasi 0,5–2% (b/v), dan konsentrasi gliserol sebesar 1–2% (v/v). Kolang-kaling 10 g dan 100 mL aquades ditetapkan sebagai variabel tetap. Parameter pengamatan pada tahap optimasi adalah ketebalan, *heat sealability*, *water vapor transmission rate* (WVTR), dan kelarutan. *Edible film* kolang-kaling terbaik diperoleh pada kombinasi formula dengan penambahan CMC 3,11% (b/v), lilin lebah 2,00% (b/v), dan gliserol 1,00% (v/v). Nilai masing-masing respon *edible film* kolang-kaling hasil kombinasi formula terbaik memiliki ketebalan 0,15 mm, *heat sealability* 115,51 N/m, nilai WVTR 2,86 g/m<sup>2</sup>/jam, dan kelarutan 75,61%. Berdasarkan karakteristik pengujian waktu kelarutan kantong *edible film* kolang-kaling dibutuhkan waktu 2,5 menit untuk larut.

**Kata kunci:** *edible film*, *heat sealable*, kolang-kaling, lilin lebah, optimasi

### PENDAHULUAN

*Edible film* adalah lapisan tipis yang dapat dikonsumsi dan dapat berperan dalam memberikan perlindungan terhadap perpindahan massa (uap air, oksigen, lipida, dan zat terlarut) dari permukaan pangan ke lingkungan atau sebaliknya. Menurut Dhumal dan Sarkar (2018), *edible film* komposit dise-

but juga sebagai sistem multikomponen yang ditandai dengan kompleksitas suatu lapisan hidrofilik dengan lapisan hidrofobik yang dapat menghasilkan karakteristik *edible film* yang unggul. Salah satu bahan baku yang sangat berpotensi untuk dikembangkan sebagai *edible film* adalah kolang-kaling. Galaktomanan yang terkandung di dalam kolang-kaling merupakan polimer organik yang tersusun atas mannanopiranosa dan galaktopiranosa. Komponen tersebut

\*Penulis Korespondensi: E-mail: [tjahjamuhandri@apps.ipb.ac.id](mailto:tjahjamuhandri@apps.ipb.ac.id)

memiliki sifat dapat membentuk gel dan lapisan film pada konsentrasi yang rendah, sehingga dapat dikembangkan menjadi bahan baku dalam pembuatan *edible film* (Zhang *et al.*, 2014; Sari *et al.*, 2019). Pembuatan *edible film* berbahan dasar kolang-kaling menjadi salah satu potensi yang cukup baik untuk dikembangkan. Akan tetapi, *edible film* dari kolang-kaling masih memiliki kelemahan dalam menahan laju transmisi uap air, sehingga untuk mengatasi hal tersebut perlu dikombinasikan dengan lilin lebah.

Lilin lebah adalah lilin yang diperoleh dari proses sekresi dari lebah madu (*Apis mellifica*). Lilin lebah memiliki persyaratan dalam penggunaannya untuk produk pangan yaitu tidak bersifat toksik, penampakan yang mengkilap, tidak berpengaruh terhadap aroma dan rasa, mudah diperoleh, serta harganya murah (Aguilar *et al.*, 2007). Lilin lebah tidak berinteraksi dengan sistem pencernaan manusia karena dapat melewati tubuh tanpa mengalami perubahan. Pengaplikasian lilin lebah dalam pembuatan *edible film* dapat menghasilkan *edible film* dengan sifat penghalang uap air dan kekuatan mekanik yang baik (Omar-Aziz *et al.*, 2021). Penelitian yang dilakukan oleh Pérez-Vergara *et al.* (2020) melaporkan bahwa *edible film* yang mengandung lilin lebah memiliki fungsi sebagai antimikroba sehingga dapat memperpanjang umur simpan produk. Tetapi, *edible film* kolang-kaling dengan kombinasi lilin lebah tidak memiliki sifat *heat sealability* yang baik, dengan fleksibilitas dan kuat tarik yang rendah. Oleh karena itu, diperlukan *plasticizer* yaitu gliserol untuk memperbaiki sifat tersebut.

Peran gliserol sebagai *plasticizer* selain dapat memperbaiki elastisitas, juga dapat menentukan sifat *heat sealability* suatu *edible film*, serta berperan penting terhadap kualitas kekuatan hasil proses *sealing*. Hal ini juga bergantung pada formulasi dari *edible film* berbahan kolang-kaling dan lilin lebah dengan konsentrasi yang tepat, sehingga dapat memperbaiki sifat mekanis dan fungsionalnya. Permasalahan pada tingkat kelarutan lilin lebah yang rendah menyebabkan *barrier* terhadap uap air dan oksigen juga tidak maksimal. *Edible film* yang dihasilkan juga tidak memiliki sifat termoplastik sehingga hal tersebut akan membatasi pengaplikasian *edible film* sebagai bahan pengemas (Costa *et al.*, 2023; Gamboni *et al.*, 2023). Salah satu bahan yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah *carboxymethyl cellulose* (CMC). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memperoleh formula optimum *edible film* berbahan baku kolang-kaling dengan kombinasi CMC, lilin lebah, dan gliserol, yang diaplikasikan sebagai kemasan pangan berbentuk kantong (*sachet*), yang memiliki sifat kelim panas (*heat sealability*) dan fungsional yang baik.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Bahan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah kolang-kaling yang diperoleh dari pasar Ciluar di Cibinong, Bogor. Digunakan juga gliserol 98% (*food grade*) (CV Netafarm, Sidoarjo), lilin lebah (*food grade*) (CV Asli Madu, Semarang), CMC (*food grade*) (Mitra Jaya Chemical, Bekasi), akuades, dan beberapa bahan kimia untuk analisis.

### Pembuatan bubur kolang-kaling

Proses pembuatan bubur kolang-kaling mengacu kepada metode Sitompul dan Zubaidah (2017) yang dimodifikasi. Modifikasi yang dilakukan adalah waktu yang dibutuhkan untuk proses penghancuran kolang-kaling. Kolang-kaling dicuci bersih kemudian dipotong kecil-kecil yang bertujuan untuk mempermudah proses penghancuran. Setelah itu, kolang-kaling dimasukkan ke dalam *blender* (Philips HR 2118, Indonesia) dan ditambahkan akuades dengan perbandingan (1:1 g) selama 5 menit. Selanjutnya bubur kolang-kaling disaring dengan ayakan berukuran 60 mesh (ABM Test Sieve Analysis, Indonesia).

### Pembuatan *edible film* kolang-kaling

Proses pembuatan *edible film* kolang-kaling mengacu kepada metode Sitompul dan Zubaidah (2017) yang dimodifikasi. Modifikasi yang dilakukan adalah jumlah bubur kolang-kaling, oven, dan suhu pengeringan *edible film* yang digunakan. Bubur kolang-kaling ditimbang sebanyak 10 g menggunakan timbangan analitik (FZ-300i, Inggris), ditambahkan akuades 100 mL, dan diaduk hingga terbentuk larutan. Larutan kolang-kaling dipanaskan menggunakan *hot plate stirrer* (Thermo Scientific™ SP8885 7100, US) pada suhu 80 °C selama 10 menit sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. Setelah terbentuk gel, ditambahkan gliserol, CMC, dan lilin lebah (yang telah dicairkan dulu sebelumnya) secara bertahap agar semua komponen dapat tercampur secara homogen. Suhu 80 °C tetap dipertahankan selama 15 menit. Lalu larutan didiamkan selama 3 menit untuk menghilangkan udara yang terperangkap di dalam larutan. Larutan *edible film* kolang-kaling dituang ke cetakan menggunakan loyang anti lengket berukuran 20x10x2 cm sebanyak 100 mL dan dikeringkan di dalam oven (WTC Binder Tuttlingen, Jerman) pada suhu 60 °C selama 24 jam. *Edible film* yang telah kering dilepas dari cetakan, dan disimpan dalam desikator bersuhu  $\pm 28$  °C pada kondisi RH 50% selama 24 jam sebelum dilakukan pengujian.

### Penentuan faktor, respon terpilih, dan kepentingan pemilihan kondisi kombinasi formula optimum

Penentuan faktor terdiri dari tiga variabel bebas, yaitu konsentrasi CMC, lilin lebah, dan gliserol (Tabel

1). Penentuan faktor diperoleh berdasarkan kajian penelitian Bourbon *et al.* (2021), Safitri *et al.* (2020), dan Sari *et al.* (2008) yang mendapatkan konsentrasi CMC 2% (b/v), lilin lebah 2% (b/v), dan gliserol terbaik yaitu 1–2% (v/v), serta dilakukan penelitian pendahuluan untuk mendapatkan ketiga konsentrasi terbaik dalam penentuan batas atas dan bawah dengan melihat respon ketebalan dan *heat sealability*. Kolang-kaling sebanyak 10 g dan akuades sebanyak 100 mL ditetapkan sebagai variabel tetap.

Tabel 1. Variabel dan level pada optimasi *edible film* kolang-kaling

Tabel 1. Variables and levels optimization of *edible film* from sugar palm fruit

Parameter (Parameters)	Minimum (Minimum)	Maksimum (Maximum)
Carboxymethyl cellulose (%) (w/v)	2	4
Lilin lebah (%) (b/v) (Beeswax (%) (w/v))	0.5	2
Gliserol (%) (v/v) (Glycerol (%) (v/v))	1	2

Nilai batas atas dan batas bawah dimasukkan ke dalam aplikasi *Design Expert* versi 13 (DX-13) dengan metode *response surface methodology* (RSM) pada model *box-behnken design* (BBD), kemudian diperoleh kombinasi faktor pembuatan *edible film* (Tabel 2). Selanjutnya dilakukan pembuatan *edible film* berdasarkan unit-unit percobaan yang ditentukan oleh *software* DX-13. Variabel terikat yang akan dimasukkan dalam tahapan optimasi ini berupa ketebalan, nilai WVTR, kelarutan, dan *heat sealability*.

Hasil solusi kombinasi formula terpilih didapatkan dengan cara menetapkan kriteria respon yang dikehendaki. Kriteria respon paling berpengaruh ditetapkan dalam rentang skala kepentingan 5 (+++++) yaitu pada respon *heat sealability*, karena dalam pembuatan kantong *edible film* kolang-kaling harus menghasilkan formula dengan hasil pengeliman yang sangat kuat untuk menghasilkan kantong yang tidak mudah sobek sehingga dapat menampung produk pangan dengan baik. Respon WVTR memiliki nilai kepentingan 4 (++++) karena kantong *edible film* yang dibuat dapat menghasilkan difusi uap air yang rendah, sehingga produk pangan yang dikemas memiliki daya simpan yang lebih lama dan juga lebih awet. Respon kelarutan memiliki skala kepentingan 3 (+++) agar saat dikonsumsi mudah untuk larut. Respon ketebalan dipilih dengan skala kepentingan 2 (++) untuk mendapatkan formula *edible film* yang tidak terlalu tebal dan tidak juga terlalu tipis, serta masih dalam standar yang ditetapkan oleh *Japanese Industrial Standard* (JIS).

Sasaran (*goal*) untuk masing-masing respon terbagi menjadi empat yaitu *in range* (respon berada dalam batas atas dan bawah), *maximize* (respon

dikehendaki semaksimal mungkin), *minimize* (respon dikehendaki seminimal mungkin), dan *target* (respon dikehendaki berdasarkan nilai yang akan dituju). Selanjutnya, masing-masing respon tersebut dipilih keinginan sarannya dan dilanjutkan dengan memverifikasi sebanyak tiga kali ulangan dengan pengujian ketebalan, nilai WVTR, kelarutan, dan *heat sealability*. Hasilnya dibandingkan dengan nilai respon prediksi dari *software*. Sejalan dengan pernyataan Hespanhol *et al.* (2019), hasil penelitian ini telah terverifikasi karena nilai aktual pengujian respon masih berada di kisaran rentang nilai 95% *confident interval* (CI) dan nilai 95% *prediction interval* (PI) (Tabel 6).

Tabel 2. Kombinasi formula *edible film* kolang-kaling berdasarkan desain eksperimental

Tabel 2. Formula combinations of *edible film* from sugar palm fruit based on experimental design

Formulasi (Formulation)	Perlakuan Optimasi (Optimization Treatment)		
	CMC (%) (b/v) (CMC) (%) (w/v)	LB (%) (b/v) (BW) (%) (w/v)	GL (%) (v/v) (GL) (%) (v/v)
1	4	1.25	1
2	3	0.5	2
3	2	0.5	1.5
4	3	0.5	1
5	4	1.25	2
6	3	1.25	1.5
7	3	2	1
8	2	1.25	1
9	3	1.25	1.5
10	3	2	2
11	3	1.25	1.5
12	4	2	1.5
13	3	1.25	1.5
14	3	1.25	1.5
15	2	1.25	2
16	2	2	1.5
17	4	0.5	1.5

Keterangan: CMC= *carboxymethyl cellulose*, LB= lilin lebah, dan GL= gliserol

Note: CMC= *carboxymethyl cellulose*, BW= *beeswax*, and GL= *glycerol*

### Pembuatan kantong *edible film* kolang-kaling

Kombinasi formula terpilih hasil optimasi dibentuk menjadi kantong menggunakan *pedal sealer* (PFS-F350, Cina). Lembaran *edible film* kolang-kaling dibentuk kantong berukuran 4x6,5 cm pada suhu 120±5 °C dengan *setting* panas pada skala 5 hingga merekat dengan sempurna. Selanjutnya bumbu mi instan sebanyak ±4 g dimasukkan ke dalam kantong *edible* dan dilakukan pengeliman kembali. Kantong *edible* yang telah berisi bumbu dianalisis waktu larutnya.

### Water vapor transmission rate (WVTR)

Analisis nilai WVTR menggunakan metode gravimetri yang telah dimodifikasi (ASTM 2016a;

Ismawanti *et al.*, 2020). Modifikasi yang dilakukan adalah penggunaan ukuran diameter cawan yang digunakan. *Edible film* yang telah diukur lebarnya direkatkan menggunakan perekat pada permukaan cawan (diameter 2,5 cm) yang telah berisi 10 g silika gel. Cawan ditimbang berat totalnya dengan ketelitian 0,0001 g menggunakan timbangan analitik, kemudian dimasukkan ke dalam desikator yang telah diatur RH-nya 75% menggunakan larutan NaCl jenuh. Sampel ditimbang setiap 1 jam selama 8 jam. Pengukuran nilai WVTR menggunakan Persamaan 1.

$$WVTR (g/m^2/jam) = \frac{\text{bobot air yang hilang (g)}}{\text{luas permukaan (m}^2\text{) x waktu (jam)}} \dots\dots\dots (1)$$

**Ketebalan**

Ketebalan diukur menggunakan mikrometer digital (Digital Thickness Gauge, Cina) dengan akurasi sebesar 0,01 mm. *Edible film* yang digunakan mempunyai lebar 15 cm dan panjang 20 cm. Pengukuran dilakukan sebanyak 12 titik pada setiap sisi *edible film* (Zhang *et al.*, 2023).

**Heat sealability**

*Edible film* dipotong membentuk pita berukuran 8x2 cm. Dua lembar *edible film* diletakkan di atas *pedal sealer* (PFS-F350, Cina) pada suhu 120±5 °C dan dilakukan pengeliman selama 4 detik pada area tepian. *Tensile strength machine* (Instron 2710-004, Amerika) digunakan dalam menentukan kekuatan hasil pengeliman *edible film* dengan maksimal beban statis 50 kg dan kecepatan uji 50 mm/menit (ASTM 2016b; Juliani *et al.*, 2022). Rumus perhitungan kekuatan hasil pengeliman sesuai Persamaan 2.

$$\text{Kekuatan Seal} = \text{kekuatan puncak/lebar film} \dots\dots\dots (2)$$

**Kelarutan**

*Edible film* dengan ukuran 3x3 cm dimasukkan ke dalam cawan aluminium, kemudian dikeringkan menggunakan oven (WTC Binder Tuttlingen, Jerman) pada suhu 105 °C selama 30 menit. Selanjutnya *edible film* ditimbang sebagai berat kering awal ( $W_0$ ), kemudian *edible film* direndam selama 24 jam, dan *edible film* yang tidak terlarut dalam larutan diangkat dan dikeringkan dalam oven (WTC Binder Tuttlingen, Jerman) selama 2 jam pada suhu 105 °C. *Edible film* diambil dan disimpan dalam desikator selama ±10 menit. Selanjutnya dilakukan penimbangan untuk mendapatkan berat *edible film* kering setelah perendaman ( $W_1$ ) (Harumarani *et al.*, 2016). Kelarutan dihitung dengan Persamaan 3.

$$\text{Kelarutan (\%)} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

**Uji waktu kelarutan**

Pengujian waktu kelarutan kantong *edible film* dilakukan dengan menuangkan ±150 mL air panas ke dalam 250 mL *beaker glass* yang telah berisi kantong *edible film* dan dicatat waktunya hingga kantong larut dengan sempurna. Hasil pengukuran dinyatakan dalam satuan menit (Zubaydah dan Sahumena, 2021).

**Analisis data**

Data respon pada setiap formulasi RSM dianalisis sebanyak dua kali ulangan (*duplo*). Data dari masing-masing respon dianalisis dan digunakan dalam penentuan kombinasi *edible film* terpilih menggunakan *software* DX-13. Kombinasi yang terpilih diverifikasi sebanyak tiga kali ulangan.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Respon optimasi kombinasi formula *edible film***

Hasil rancangan formulasi menggunakan *software* DX-13 menghasilkan sebanyak 17 kombinasi formula dengan respon yang dianalisis adalah ketebalan, *heat sealability*, nilai WVTR, dan kelarutan (Tabel 3). Masing-masing respon dianalisis dan data hasil pengukuran respon dimasukkan ke dalam *software* DX-13. Nilai respon ketebalan *edible film* berkisar antara 0,089–0,209 mm, respon *heat sealability* 33,728–128,517 N/m, respon WVTR 2,279–19,216 g/m<sup>2</sup>/jam, dan nilai respon untuk kelarutan 55,19–82,22%.

**Analysis of variance (ANOVA) untuk keseluruhan respon**

Hasil *analysis of variance* (ANOVA) untuk keseluruhan respon (ketebalan, *heat sealability*, nilai WVTR, dan kelarutan) (Tabel 4), menunjukkan nilai yang diinginkan yaitu *p-value*<0,05; selisih nilai *adjusted R<sup>2</sup>* dan *predicted R<sup>2</sup>*<0,2; dan *adequate precision*>4. Hal tersebut menunjukkan bahwa model dari masing-masing respon mampu memprediksi dengan baik hasil yang didapatkan (Greenland *et al.*, 2016).

**Ketebalan *edible film***

Ketebalan *edible film* merupakan karakteristik visual yang dapat memengaruhi permeabilitas film, sifat mekanik, dan kemampuan dalam mempertahankan umur simpan produk yang dikemas. Ketebalan *edible film* kolong-kaling dipengaruhi oleh konsentrasi bahan, sehingga *edible film* dengan jumlah padatan terbanyak akan semakin tebal. Safitri *et al.* (2020) melaporkan bahwa ketebalan *edible film* dengan adanya penambahan lilin lebah akan meningkatkan ketebalan film secara signifikan berkisar antara 0,16–0,19 mm. Lebih lanjut Cortes-Rodriguez *et al.* (2020) menjelaskan dalam penelitiannya bahwa selama proses pengeringan *edible film*, terjadi pembentukan matriks polimer yang kaku karena terdapat jaringan kristal orthorombic pada lilin lebah.

Tabel 3. Hasil pengukuran respon *edible film* kolang-kaling pada berbagai perlakuan optimasi  
 Tabel 3. The results of the response measurement of *edible film* from sugar palm fruit based on various optimization

Formulasi (Formulation)	Hasil Pengukuran Respon (Response Measurement Results)			
	Ketebalan (mm) (Thickness (mm))	Kemampuan Pengeliman (N/m) (Heat Sealability (N/m))	Nilai WVTR (g/m <sup>2</sup> /jam) (WVTR Value (g/m <sup>2</sup> /h))	Kelarutan (%) (Solubility (%))
1	0.176	109.871	2.279	58.29
2	0.107	64.111	13.048	78.27
3	0.089	33.728	15.518	82.22
4	0.105	65.670	4.318	77.11
5	0.191	97.012	6.687	60.01
6	0.151	74.011	6.001	76.37
7	0.200	127.301	2.371	71.76
8	0.099	57.958	7.562	81.99
9	0.146	71.230	5.112	76.19
10	0.209	96.553	8.562	73.54
11	0.156	68.817	5.559	75.99
12	0,198	128.517	2.371	55.19
13	0.142	72.001	4.872	74.27
14	0.160	74.138	4.546	75.00
15	0.126	55.603	19.216	80.52
16	0.145	43.141	9.049	81.29
17	0.119	57.051	5.572	57.09

Tabel 4. Hasil ANOVA respon ketebalan, *heat sealability*, nilai WVTR, dan kelarutan  
 Table 4. ANOVA result for thickness, *heat sealability*, WVTR value, and solubility responses

Respon (Response)	Model (Model)	Sig (p<0.05) (Sig (p<0.05))	LOF (p>0.05) (LOF (p>0.05))	R <sup>2</sup>	Adj. R <sup>2</sup>	Pred. R <sup>2</sup>	Adeq. P
Ketebalan (mm) (Thickness (mm))	Linier (Linear)	<0.0001	0.0931	0.9060	0.8843	0.8136	22.4819
Kemampuan Pengeliman (N/m) (Heat sealability (N/m))	Kuadratik (Quadratic)	<0.0001	0.0572	0.9909	0.9791	0.8774	31.4039
Nilai WVTR (g/m <sup>2</sup> /jam) (WVTR value (g/m <sup>2</sup> /h))	(Kuadratik) (Quadratic)	<0.0001	0.3082	0.9917	0.9810	0.9202	34.2886
Kelarutan (%) (Solubility (%))	(Kuadratik) (Quadratic)	<0.0001	0.0636	0.9873	0.9709	0.8316	22.9885

Keterangan: Sig= signifikansi, LOF= lack of fit, R<sup>2</sup>= nilai koefisien korelasi, Adj. R<sup>2</sup>= adjusted R<sup>2</sup>, Pred. R<sup>2</sup>= predicted R<sup>2</sup>, Adeq. P= Adequate precision  
 Note: Sig= significance, LOF= lack of fit, R<sup>2</sup>= coefficient of correlation, Adj. R<sup>2</sup>= adjusted R<sup>2</sup>, Pred. R<sup>2</sup>= predicted R<sup>2</sup>, Adeq. P= adequate precision

Luas cetakan dan volume larutan yang dituangkan di atas cetakan juga dapat memengaruhi nilai ketebalan. Penelitian Fatima *et al.* (2023) mengungkapkan bahwa dengan meningkatnya jumlah volume larutan pada cetakan maka semakin meningkat juga total padatan dalam cetakan sehingga *edible film* yang terbentuk semakin tebal. Begitu juga dengan luas cetakan yang berbeda dengan volume larutan yang sama, dapat menghasilkan ketebalan *edible film* yang berbeda-beda.

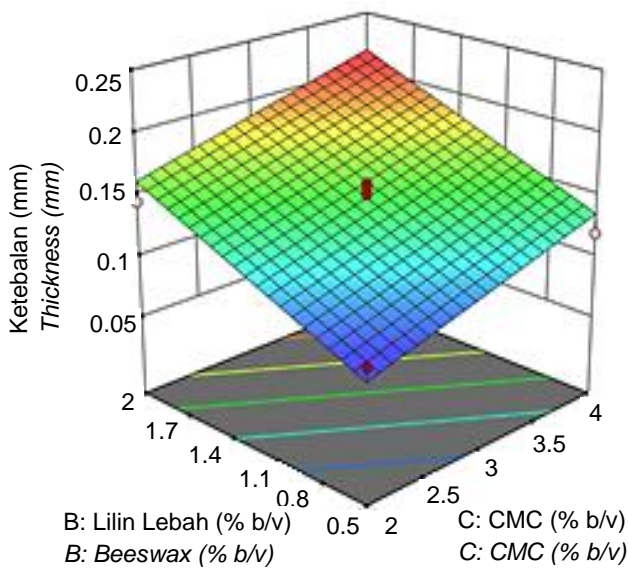
Data ketebalan *edible film* menunjukkan kecenderungan yang tinggi ketika jumlah CMC dan lilin lebah tinggi. Akan tetapi, nilai ketebalan tersebut, masih tergolong memenuhi ketentuan JIS karena ketebalan *edible film* yang baik yaitu kurang dari 0,25 mm (Zuwana *et al.*, 2017). Model yang disarankan oleh *software DX-13* adalah model polinomial ber-

bentuk *linear* dengan persamaan yang digunakan untuk interpretasi adalah Persamaan 4 (A= CMC, B= lilin lebah, dan C= gliserol).

$$\text{Ketebalan} = -0,025140 + 0,028275A + 0,055083B + 0,013225C \dots\dots\dots (4)$$

Persamaan yang didapatkan menunjukkan bahwa nilai respon ketebalan akan semakin meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi CMC, lilin lebah, dan gliserol. Hal ini ditunjukkan pada nilai konstanta yang positif, sedangkan konstanta negatif merupakan nilai yang dapat diabaikan karena model regresi yang dihasilkan sudah memenuhi asumsi regresi *linear* klasik (Mardiatmoko, 2019). Variasi warna yang dihasilkan pada grafik menandakan nilai respon ketebalan yang berbeda-beda pada setiap

kombinasi faktor. Warna dengan daerah yang semakin biru menunjukkan nilai respon ketebalan terendah sedangkan nilai respon tertinggi ditunjukkan oleh warna merah (Gambar 1). Penetapan sasaran untuk nilai respon ketebalan *edible film* yang dipilih adalah *target* dengan nilai yang telah disarankan oleh *software* DX-13 yaitu 0,209 mm (Tabel 5). Pada penelitian ini telah dicoba memilih sasaran selain *target* 0,209 mm, akan tetapi memberikan pengaruh negatif terhadap nilai *desirability* yang dihasilkan menjadi sangat rendah. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Nabila *et al.* (2018), *edible film* yang memiliki ketebalan 0,01 mm hingga 0,1 mm menghasilkan nilai WVTR yang lebih tinggi sehingga tidak mampu mencegah migrasi uap air, sulit untuk melindungi produk dari paparan sinar UV, dan mudah sobek. Nilai ketebalan *edible film* yang lebih dari 0,20 mm dapat memengaruhi nilai *heat sealability* dan transparansi menjadi sangat rendah (Juliani *et al.*, 2022; Warkoyo *et al.*, 2022). Selain itu, menurut ketentuan JIS, nilai ketebalan yang baik yaitu kurang dari 0,25 mm (Zuwana *et al.*, 2017).



Gambar 1. Grafik tiga dimensi respon ketebalan  
Figure 1. 3D graph of thickness response

**Heat sealability**

Kemampuan *heat sealability* pada *edible film* sangat penting dalam pembuatan kantong kemasan bahan pangan. *Heat sealability* adalah pengukuran kekuatan keliman yang menunjukkan kualitas pengeliman kantong *edible film* (Suh *et al.*, 2020). Model yang disarankan adalah model polinomial berbentuk kuadratik dengan Persamaan 5 (A= CMC, B= lilin lebah, C= gliserol, AB= CMC dan lilin lebah, AC= CMC dan gliserol, BC= lilin lebah dan gliserol,

A<sup>2</sup>= kuadrat CMC, B<sup>2</sup>= kuadrat lilin lebah, dan C<sup>2</sup>= kuadrat gliserol).

$$Heat\ Sealability = 70,34036 + 51,45891A - 7,85560B - 157,02944C + 20,68406AB - 5,25188AC - 19,45914BC - 7,36392A^2 + 1,66031B^2 + 61,74277C^2 \dots\dots\dots (5)$$

Pada respon *heat sealability* terlihat bahwa semakin besar konsentrasi CMC dan lilin lebah nilai *heat sealability* juga semakin tinggi. Jika konsentrasi CMC semakin tinggi dengan konsentrasi gliserol 1% (v/v) nilai *heat sealability* meningkat akan tetapi pada penggunaan konsentrasi gliserol 2% (v/v) dan CMC 2% (b/v) masih terjadi peningkatan nilai *heat sealability* (Gambar 2). Suh *et al.* (2020) melaporkan bahwa *edible film* berbasis pati dengan kadar air yang tinggi kegagalan pengeliman pada bagian tepinya, sehingga dapat disimpulkan bahwa kadar air merupakan faktor penting dalam keberhasilan proses pengeliman. CMC yang mempunyai sifat sebagai pengental mengakibatkan penyerapan kandungan air yang cukup baik, sehingga penggunaan CMC 4% (b/v), mampu menghasilkan nilai *heat sealability* *edible film* yang tertinggi.

Grafik RSM pada Gambar 2 menunjukkan kombinasi formula antar komponen yang dapat saling memengaruhi nilai respon *heat sealability*. Nilai respon maksimum adalah nilai yang diharapkan untuk menghasilkan *edible film* yang memiliki kekuatan pengeliman yang besar. Nilai respon maksimum diperoleh jika konsentrasi gliserol yang digunakan 1,5% (v/v), CMC dengan konsentrasi 3% (b/v), dan lilin lebah sebanyak 1,25% (b/v). Menurut Gamboni *et al.* (2023) beberapa faktor yang dapat memengaruhi *heat sealability* adalah tekanan yang diberikan, suhu *pedal sealer* yang digunakan, dan durasi panas saat pengeliman. Faktor lain yang dapat memengaruhi keberhasilan pengeliman *edible film* adalah ketebalan film, yaitu semakin tebal *edible film* yang dihasilkan maka suhu permukaan sambungan akan semakin menurun, sehingga nilai *heat sealing* menurun (Juliani *et al.*, 2022).

**Hasil analisis respon nilai WVTR**

Nilai WVTR merupakan salah satu parameter mutu *edible film* yang penting karena berkaitan dengan kemampuan melindungi produk terhadap migrasi uap air. Nilai WVTR yang tinggi menyebabkan bahan pangan yang dikemas semakin cepat rusak. Artinya *edible film* tidak dapat menahan masuk atau keluarnya air yang terdapat pada bahan pangan maupun kandungan air yang berasal dari lingkungan, sehingga akan mempercepat reaksi hidrolisis dan kerusakan oleh mikroorganisme (Sängerlaub *et al.*, 2018).

Tabel 5. Kriteria penentuan formula *edible film* optimum  
 Table 5. Criteria for determining the optimum formula of *edible film*

Variabel (Variable)	Sasaran (Goal)	Batas Bawah (Lower Limit)	Batas Atas (Upper Limit)	Skala Kepentingan (Importance)
CMC (%) (b/v) (CMC) (%) (w/v)	Dalam rentang (In range)	2	4	3
LB (%) (b/v) (BW) (%) (w/v)	Dalam rentang (In range)	0.5	2	3
GL (%) (v/v) (GL) (%) (v/v)	Dalam rentang (In range)	1	2	3
Ketebalan (mm) (Thickness (mm))	Target → 0.209	0.089	0.209	2
Kemampuan pengeliman (N/m) (Heat sealability (N/m))	Maksimal (Maximize)	33.728	128.517	5
Nilai WVTR (g/m <sup>2</sup> /jam) (WVTR value (g/m <sup>2</sup> /h))	Minimal (Minimize)	2.279	19.216	4
Kelarutan (%) (Solubility (%))	Maksimal (Maximize)	55.190	82.223	3

Keterangan: CMC= carboxymethyl cellulose, LB= lilin lebah, dan GL= gliserol  
 Note: CMC= carboxymethyl cellulose, BW= beeswax, and GL= glycerol

Model yang disarankan adalah model polinomial berbentuk kuadrat dengan Persamaan 6 (A= CMC, B= lilin lebah, C= gliserol, AB= CMC dan lilin lebah, AC= CMC dan gliserol, BC= lilin lebah dan gliserol, A<sup>2</sup>= kuadrat CMC, B<sup>2</sup>= kuadrat lilin lebah dan, C<sup>2</sup>= kuadrat gliserol).

$$\text{Nilai WVTR} = 29,39592 - 14,54372A - 5,74301B + 4,73636C + 1,08942AB - 3,62301AC - 1,69262BC + 2,38532A^2 + 0,931912B^2 + 5,33134C^2 \dots\dots\dots (6)$$

Semakin tinggi konsentrasi CMC dan lilin lebah dapat menurunkan nilai WVTR, sedangkan dengan penambahan gliserol yang semakin banyak akan meningkatkan nilai WVTR (Gambar 3). Hasil penelitian yang sama juga diperoleh Meindrawan *et al.* (2017), seiring dengan penambahan konsentrasi lilin lebah maka nilai WVTR semakin rendah. Hal ini disebabkan kandungan ester dari lemak alkohol dan asam lemak serta senyawa alkana yang berantai panjang yang terkandung dalam lilin lebah. Saat pengeringan *edible film* berlangsung, lilin lebah yang bersifat hidrofobik membentuk aglomerat dan jaringan kristal orthorombic yang menjadi penghalang terhadap uap air (Vijayan *et al.*, 2023; Mudaffar 2018). Selain itu pada penelitian yang telah dilakukan oleh Bourbon *et al.* (2021) dan Thivya *et al.* (2021) menjelaskan bahwa peningkatan konsentrasi CMC dapat menurunkan nilai WVTR yang diduga karena terjadinya ikatan yang lebih rapat pada matriks film. Penelitian Lintang *et al.* (2021) melaporkan bahwa penambahan gliserol yang semakin tinggi dapat menurunkan nilai WVTR. Semakin tinggi nilai WVTR yang dihasilkan, maka kualitas *edible film* semakin rendah karena tidak dapat mencegah difusi uap air, sehingga bahan pangan yang akan dikemas menggunakan *edible film* akan mudah rusak.

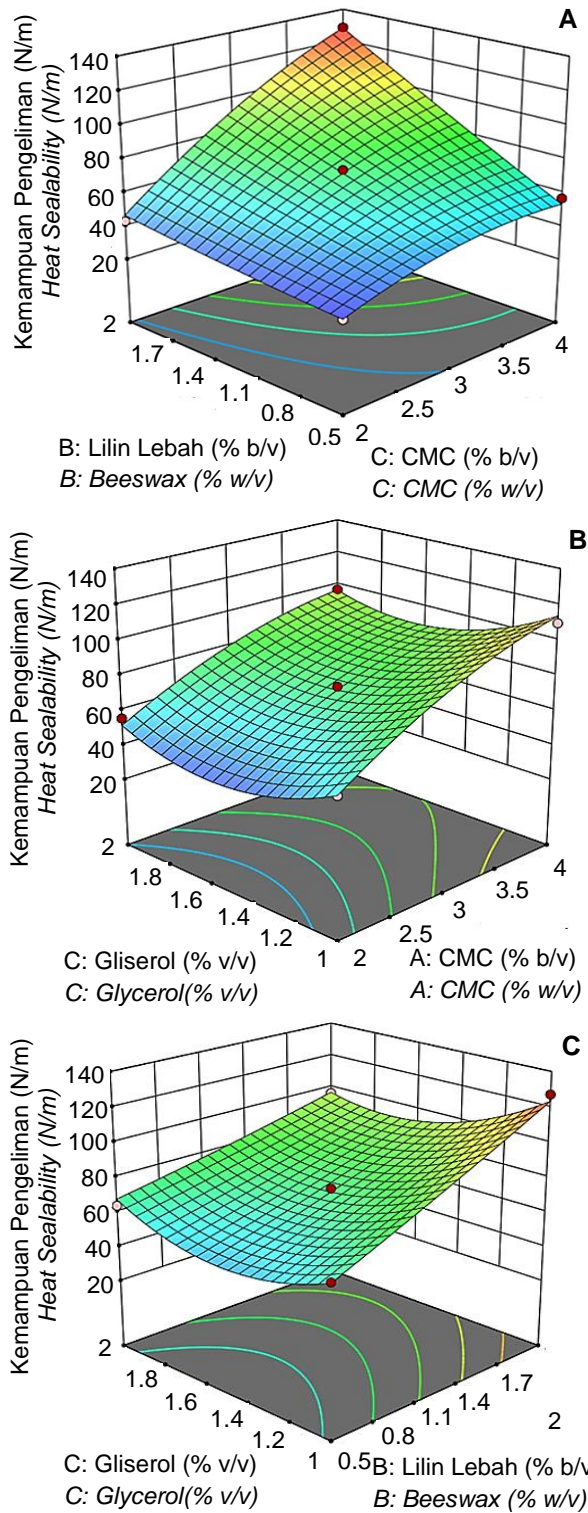
Nilai respon WVTR yang diinginkan adalah nilai respon minimum. Nilai respon minimum diperoleh

ketika titik pusat bergeser ke arah kiri bawah menuju daerah berwarna biru tua. Faktor ketebalan *edible film* sangat berperan penting dalam menentukan nilai WVTR. Semakin tebal *edible film* yang dihasilkan maka akan semakin sulit uap air untuk menembus lapisan *edible film* dan sebaliknya (Sängerlaub *et al.*, 2018). Ramadhani *et al.* (2023) melaporkan adanya peningkatan jumlah polimer akibat penggunaan konsentrasi, dan jumlah total padatan yang tinggi juga dapat memengaruhi penurunan nilai WVTR. Beberapa faktor lainnya yang dapat memengaruhi tinggi rendahnya nilai WVTR yaitu sifat alami dari bahan utama yang digunakan, kelembaban, jenis, dan konsentrasi *plasticizer* serta kekompakan struktur *edible film* (Dewi *et al.*, 2021; Warkoyo *et al.*, 2014).

**Kelarutan**

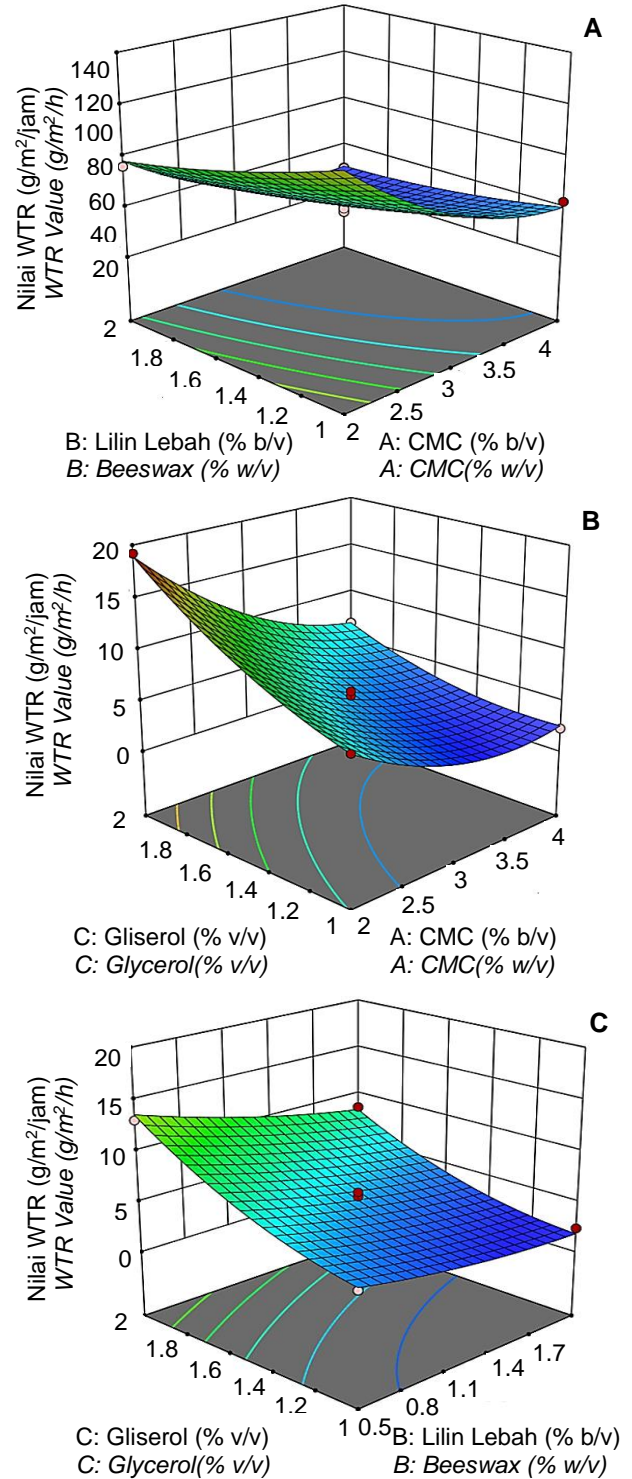
Kelarutan *edible film* merupakan indikator yang dapat menentukan kemampuan biodegradasi dari suatu *edible film* yang nantinya digunakan sebagai bahan pengemas. Kelarutan sangat dipengaruhi oleh sifat hidrofilik dan hidrofobik. Tingginya nilai kelarutan berbanding lurus dengan komponen hidrofilik yang tinggi, dan sebaliknya jika komponen hidrofobiknya tinggi maka *edible film* yang dihasilkan memiliki nilai kelarutan yang rendah (Muin *et al.*, 2017). Model yang disarankan adalah model polinomial berbentuk kuadrat seperti terlihat pada Persamaan 7 (A= CMC, B= lilin lebah, C= gliserol, AB= CMC dan lilin lebah, AC= CMC dan gliserol, BC= lilin lebah dan gliserol, A<sup>2</sup>= kuadrat CMC, B<sup>2</sup>= kuadrat lilin lebah, dan C<sup>2</sup>= kuadrat gliserol).

$$\text{Kelarutan} = 69,02572 + 20,83598A + 1,87561B - 9,64946C - 0,325733AB + 1,59710AC + 0,412267BC - 5,79279A^2 - 1,46708B^2 + 1,71306C^2 \dots\dots\dots (7)$$



Keterangan: A= konsentrasi lilin lebah dan CMC, B= konsentrasi gliserol dan CMC, dan C= konsentrasi gliserol dan lilin lebah  
 Note: A= concentration of beeswax and CMC, B= concentration of glycerol and CMC, and C= concentration of glycerol and beeswax

Gambar 2. Grafik tiga dimensi respon heat sealability  
 Figure 2. 3D graph heat sealability response



Keterangan: A= konsentrasi lilin lebah dan CMC, B= konsentrasi gliserol dan CMC, dan C= konsentrasi gliserol dan lilin lebah  
 Note: A= concentration of beeswax and CMC, B= concentration of glycerol and CMC, and C= concentration of glycerol and beeswax

Gambar 3. Grafik tiga dimensi respon nilai WVTR  
 Figure 3. 3D graph water vapor transmission rate response

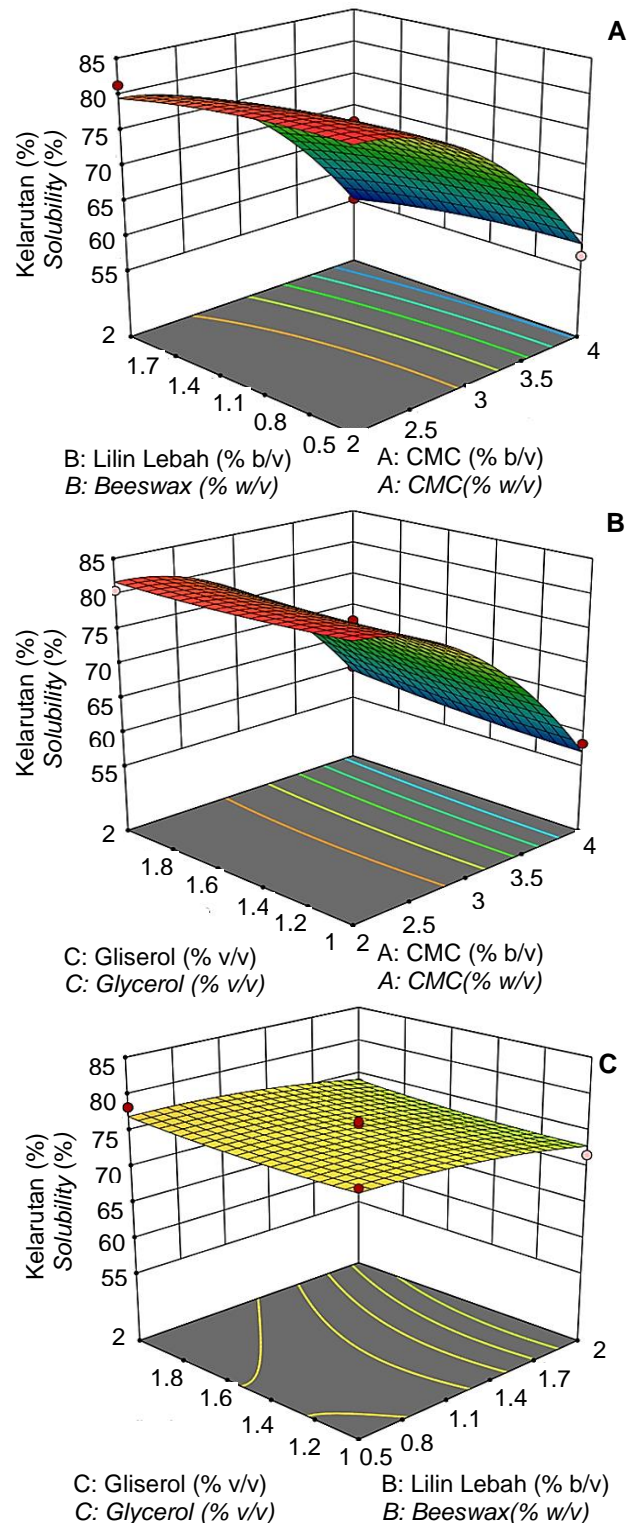


Hasil tertinggi untuk respon nilai kelarutan didapatkan pada konsentrasi CMC 2% (b/v), lilin lebah 0,5% (b/v), dan gliserol 1% (v/v). Hasil tersebut sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Bourbon *et al.* (2021) pada pembuatan *edible film* berbasis CMC dengan penambahan kurkumin yang terenkapsulasi dan non enkapsulasi terhadap sifat *edible film*, bahwa penggunaan CMC 2% b/v menghasilkan nilai kelarutan yang cukup tinggi yaitu 66,26%, sedangkan pada penelitian ini sekitar 82,22%. Namun, tinggi rendahnya nilai kelarutan juga dipengaruhi oleh bahan penyusun *edible film*. Semakin tinggi konsentrasi CMC yang digunakan maka akan menghasilkan kerapatan gel dan kekompakan matriks *edible film* sehingga molekul air sulit untuk masuk ataupun dilepaskan kembali (Bourbon *et al.*, 2021). Sitompul dan Zubaidah (2017) melaporkan bahwa semakin besar konsentrasi lilin lebah yang digunakan maka nilai kelarutannya juga menurun karena sifat hidrofobik yang dimiliki oleh lilin lebah. Penelitian Oko *et al.* (2023) juga menunjukkan bahwa asam lemak yang terkandung dalam lilin lebah menyebabkan menurunnya nilai kelarutan *edible film*.

Berdasarkan grafik tiga dimensi yang diperoleh, terlihat adanya kombinasi antara komponen yang saling memengaruhi *edible film* kolang-kaling terhadap respon kelarutan dalam air (Gambar 4). Hasil respon kelarutan berkisar antara 57,09-82,22%. Nilai respon kelarutan yang diinginkan adalah maksimum. Nilai respon kelarutan yang maksimum diperoleh jika konsentrasi lilin lebah dan CMC yang digunakan semakin sedikit. Keberadaan gliserol juga dapat menyebabkan respon nilai kelarutan semakin mendekati maksimum karena terjadinya penurunan interaksi antar molekul (Adlin *et al.*, 2020). *Edible film* dengan nilai kelarutan yang tinggi sangat sesuai diaplikasikan untuk produk-produk yang mudah larut seperti pembungkus minuman instan, pembungkus bumbu mi instan, dan permen.

**Kombinasi formula *edible film* kolang-kaling terpilih**

Hasil kombinasi formula terpilih yakni dengan konsentrasi CMC 3,11% (b/v), lilin lebah 2,00% (b/v), dan gliserol 1,00% (v/v) menghasilkan nilai *desirability* tertinggi. Nilai *desirability* untuk kombinasi formula terpilih ini ialah 0,870. Nilai *desirability* sangat dipengaruhi oleh batas rentang yang digunakan dalam bahan baku, jumlah bahan baku, dan respon yang ditetapkan, serta target yang ingin dicapai dalam memperoleh nilai optimum (Greenland *et al.*, 2016). Semakin rendah perkiraan jumlah masing-masing bahan baku yang ditetapkan, maka program memberikan rekomendasi formula optimum yang semakin sedikit.



Keterangan: A= Konsentrasi lilin lebah dan CMC, B= Konsentrasi gliserol dan CMC, dan C= Konsentrasi gliserol dan lilin lebah  
 Note: A= Concentration of beeswax and CMC, B= Concentration of glycerol and CMC, and C= Concentration of glycerol and beeswax

Gambar 4. Grafik tiga dimensi respon kelarutan  
 Figure 4. 3D graph solubility response

Semakin lebar rentang nilai yang ditetapkan, maka penentuan formula optimum dengan nilai *desirability* yang tinggi akan semakin sulit. Nilai *desirability* yang mendekati 1 merupakan nilai yang diharapkan (Greenland *et al.*, 2016).

**Nilai verifikasi kombinasi formula terpilih**

Berdasarkan hasil nilai verifikasi kombinasi formula terpilih yang didapat (Tabel 6) menunjukkan bahwa nilai tersebut masih berada pada rentang prediksi dari *software* DX-13. Nilai keseluruhan respon (ketebalan, *heat sealability*, nilai WVTR, dan kelarutan) telah memenuhi 95% *confidence interval* (CI) dan 95% *prediction interval* (PI) yang telah diprediksi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa model memberi-

kan prediksi yang baik untuk keseluruhan respon yang diteliti pada desain RSM.

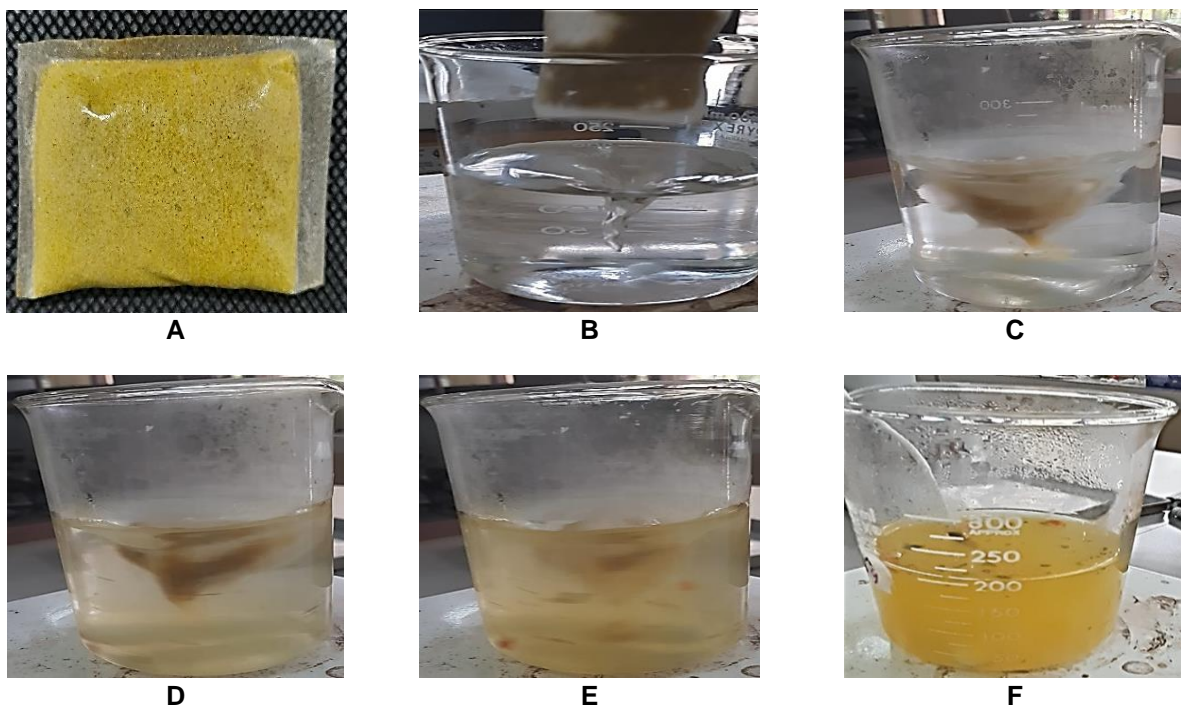
**Waktu kelarutan kantong *edible film* kolangkaling**

Hasil pengujian waktu kelarutan kantong *edible film* berlangsung selama kurang lebih 2,5 menit (Gambar 5), sehingga pengamatan waktu kelarutan kantong *edible film* ( $\pm 3$  menit) sudah lebih cepat jika dibandingkan dengan waktu penyeduhan mi instan komersial. Hal ini sangat menguntungkan karena jika dalam waktu penyeduhan 3 menit kantong *edible film* belum hancur sempurna maka dapat menyebabkan penurunan penilaian sensori secara visual (Hromiš *et al.*, 2022).

Tabel 6. Data hasil verifikasi kombinasi formula optimum

Table 6. Verification of the optimum combination formula

Respon ( <i>Response</i> )	Prediksi ( <i>Prediction</i> )	Verifikasi ( <i>Verification</i> )	95% CI low	95% CI high	95% PI low	95% PI high
Ketebalan (mm) ( <i>Thickness</i> (mm))	0.17	0.15	0.15	0.18	0.15	0.19
Kemampuan pengeliman (N/m) ( <i>Heat Sealability</i> (N/m))	112.22	115.51	104.76	119.68	103.05	121.39
Nilai WVTR (g/m <sup>2</sup> /jam) ( <i>WVTR value</i> (g/m <sup>2</sup> /h))	2.27	2.86	1.03	3.51	0.75	3.80
Kelarutan (%) ( <i>Solubility</i> (%))	75.57	75.61	72.61	78.53	71.93	79.21



Keterangan: A= kantong *edible* yang telah berisi bumbu, B= proses pencelupan, C= perubahan selama 30 detik, D= perubahan selama 1 menit, E= perubahan selama 1,5 menit, F= perubahan selama 2,5 menit  
 Note: A= *edible pouch* filled with seasoning, B= dipping process, C= changes during 30 sec, D= changes during 1 min, E= changes during 1.5 min, F= changes during 2.5 min

Gambar 5. Hasil pengamatan dan pengukuran waktu kelarutan kantong *edible film*  
 Figure 5. Result of observation and dissolution test for *edible pouch*

Menurut hasil penelitian Liu *et al.* (2020), waktu kelarutan kantong *edible film* untuk minuman kopi instan dan minuman instan cokelat berkisar kurang dari 30 detik. Waktu kelarutan yang dihasilkan pada penelitian ini menunjukkan waktu yang lebih lama daripada penelitian Liu *et al.* (2020), disebabkan oleh perbedaan komposisi dan konsentrasi bahan yang digunakan dalam pembuatan *edible film*. Tinggi rendahnya waktu kelarutan dapat disebabkan oleh penggunaan bahan baku dan konsentrasi yang berbeda (Liu *et al.*, 2020).

## KESIMPULAN

*Edible film* dengan kombinasi formula terpilih yang memenuhi nilai *desirability* tertinggi yaitu 0,870, diperoleh pada konsentrasi CMC 3,11% (b/v), lilin lebah 2,00% (b/v), dan gliserol 1,00% (v/v). Hasil verifikasi parameter optimum memperlihatkan bahwa *edible film* memiliki nilai ketebalan, WVTR, *heat sealability*, dan kelarutan yang masuk dalam rentang prediksi *response surface methodology* (RSM). *Edible film* hasil kombinasi formula terpilih dapat diaplikasikan menjadi kantong pembungkus bumbu bubuk mi instan yang menghasilkan nilai waktu kelarutan selama 2,5 menit

## DAFTAR PUSTAKA

- [ASTM] American Society for Testing and Material. (2016a). Standard test method for water vapor transmission of materials. Annual book of ASTM standards. Designation E96/E96M-16. United States: American Society for Testing and Material.
- [ASTM] American Society for Testing and Material. (2016b). Standard test method for seal strength of flexible barrier materials. Annual book of ASTM standards. Designation F88/F88M-15. United States: American Society for Testing and Material.
- Aguilar, F., Autrup, H., Barlow, S., Castle, L., Crebelli, R., Dekant, W., Engel, K. H., Gontard, N., Gott, D., Grilli, S., Gürtler, R., Larsen, J. C., Leclercq, C., Leblanc, J. C., Malcata, F. X., Mennes, W., Milana, M. R., Pratt, I., Rietjens, I., Tobback, P., Toldrá, F. (2007). Beeswax (E 901) as a glazing agent and as carrier for flavours scientific opinion of the panel on food additives, flavourings, processing aids and materials in contact with food (AFC). *EFSA Journal*, 5(12), 615. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2007.615>
- Adlin, I. A., Sebastiani, Y., & Hidayanti, T. N. (2020). Karakterisasi pembuatan *edible film* dengan variabel kombinasi tepung konjak dan karagenan serta konsentrasi gliserol. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 4(2), 88–95. <https://doi.org/10.32493/jitk.v4i2.6654>
- Bourbon, A. I., Costa, M. J., Maciel, L. C., Pastrana, L., Vicente, A. A., & Cerqueira, M. A. (2021). Active carboxymethylcellulose-based *edible films*: Influence of free and encapsulated curcumin on films' properties. *Foods*, 10(7), 1512. <https://doi.org/10.3390/foods10071512>
- Cortés-Rodríguez, M., Villegas-Yépez, C., González, J. H. G., Rodríguez, P. E., & Ortega-Toro, R. (2020). Development and evaluation of *edible films* based on cassava starch, whey protein, and bees wax. *Heliyon*, 6(9), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04884>
- Costa, E. M., Silva, S., Pereira, C. F., Ribeiro, A. B., Casanova, F., Freixo, R., Manuela, F., & Ramos, Ó. L. (2023). Carboxymethyl cellulose as a food emulsifier: Are its days numbered? *Polymers*, 15(10), 2408. <https://doi.org/10.3390/polym15102408>
- Dewi, R., Rahmi, R., & Nasrun, N. (2021). Perbaikan sifat mekanik dan laju transmisi uap air *edible film* bioplastik menggunakan minyak sawit dan plasticizer gliserol berbasis pati sagu. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 10(1), 61–77. <https://doi.org/10.29103/jtku.v10i1.4177>
- Dhumal, C. V., & Sarkar, P. (2018). Composite *edible films* and coatings from food-grade biopolymers. *Journal of Food Science and Technology*, 55(11), 4369–4383. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3402-9>
- Fatima, S., Abdullah, A., Masriani, M., & Hasriani, H. (2023). Konsentrasi sorbitol dan volume larutan terbaik pada cetakan film *edible* dari pati sagu. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 28(1), 59–64. <https://doi.org/10.18343/jipi.28.1.59>
- Gamboni, J. E., Bonfiglio, G. V., Slavutsky, A. M., & Bertuzzi, M. A. (2023). Evaluation of *edible films* as single-serve pouches for a sustainable packaging system. *Food Chemistry Advances*, 3, 100547. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100547>
- Greenland, S., Senn, S. J., Rothman, K. J., Carlin, J. B., Poole, C., Goodman, S. N., & Altman, D. G. (2016). Statistical tests, P values, confidence intervals, and power: a guide to misinterpretations. *European Journal of Epidemiology*, 31(4), 337–350. <https://doi.org/10.1007/s10654-016-0149-3>

- Handayani, S. U., Fahrudin, M., Mangestiyono, W., & Muhamad, A. F. H. (2021). Mechanical properties of commercial recycled polypropylene from plastic waste. *Journal of Vocational Studies on Applied Research*, 3(1), 1–4. <https://doi.org/10.14710/jvsar.v3i1.10868>
- Harumarani, S., & Ma'ruf, W. F. (2016). Pengaruh perbedaan konsentrasi gliserol pada karakteristik edible film komposit semirefined Karagenan *Eucheuma cottoni* dan Beeswax. *Jurnal Pengolahan dan Bioteknologi Hasil Perikanan*, 5(1), 101–105.
- Hespanhol, L., Vallio, C. S., Costa, L. M., & Saragiotto, B. T. (2019). Understanding and interpreting confidence and credible intervals around effect estimates. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 23(4), 290–301. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2018.12.006>
- Hromiš, N., Lazić, V., Popović, S., Šuput, D., Bulut, S., Kravić, S., & Romanić, R. (2022). The possible application of edible pumpkin oil cake film as pouches for flaxseed oil protection. *Food Chemistry*, 371, 131197. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131197>
- Ismawanti, R. D., Putri, W. D. R., Murtini, E. S., & Purwoto, H. (2020). Edible film made of corn starch-carrageenan-rice bran: The characteristic of formula's viscosity, water content, and water vapor transmission rate. *Industria: Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*, 9(3), 173–183. <https://doi.org/10.21776/ub.industria.2020.009.03.2>
- Juliani, D., Suyatma, N. E., & Taqi, F. M. (2022). Pengaruh Waktu pemanasan, jenis dan konsentrasi *plasticizer* terhadap karakteristik edible film K-karagenan. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 10(1), 29–40. <https://doi.org/10.19028/jtep.010.1.29-40>
- Lintang, M., Tandi, O., Layuk, P., Karouw, S., & Dirpan, A. (2021). Characterization edible films of sago with glycerol as a plasticizer. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 807, No. 2, p. 022070). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/807/2/022070>
- Liu, C., Huang, J., Zheng, X., Liu, S., Lu, K., Tang, K., & Liu, J. (2020). Heat sealable soluble soybean polysaccharide/gelatin blend edible films for food packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 24, 100485. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100485>
- Mardiatmoko, G. (2020). Pentingnya uji asumsi klasik pada analisis regresi linier berganda (studi kasus penyusunan persamaan allometrik kenari muda [*Canarium indicum* L.]). *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, 14(3), 333–342. <https://doi.org/10.30598/barekengvol14iss3pp333-342>
- Meindrawan, B., Suyatma, N. E., Muchtadi, T. R., & Iriani, E. S. (2017). Aplikasi pelapis bionanokomposit berbasis karagenan untuk mempertahankan mutu buah mangga utuh. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 5(1), 89–96. <https://doi.org/10.19028/jtep.05.1.89-96>
- Moulia, M. N., Syarief, R., Suyatma, N. E., Iriani, E. S., & Kusumaningrum, H. D. (2019). Aplikasi edible coating bionanokomposit untuk produk pempek pada penyimpanan suhu ruang. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 30(1), 11–19. <https://doi.org/10.6066/jtip.2019.30.1.11>
- Mudaffar, R. A. (2019). Karakteristik Edible film komposit dari pati sagu, gelatin dan lilin lebah (beeswax). *Journal TABARO Agriculture Science*, 2(2), 247–256. <https://doi.org/10.35914/tabaro.v2i2.134>
- Muin, R., Anggraini, D., & Malau, F. (2017). Karakteristik fisik dan antimikroba edible film dari tepung tapioka dengan penambahan gliserol dan kunyit putih. *Jurnal Teknik Kimia*, 23(3), 191–198.
- Nabila, S. D. P., Kusdarwati, R., & Agustono, A. (2018). Pengaruh penambahan beeswax sebagai *plasticizer* terhadap karakteristik fisik edible film kitosan. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 10(1), 34–39. <https://doi.org/10.20473/jipk.v10i1.8518>
- Oko, S., Kurniawan, A., & Alam, G. R. P. (2023). Pengaruh penambahan massa lilin lebah (beeswax) sebagai zat anti air pada pembuatan edible film dari beras merah (*Oryza Nivara*). *Jurnal Teknologi*, 15(1), 65–72.
- Omar-Aziz, M., Khodaiyan, F., Yarmand, M. S., Mousavi, M., Gharaghani, M., Kennedy, J. F., & Hosseini, S. S. (2021). Combined effects of octenylsuccination and beeswax on pullulan films: Water-resistant and mechanical properties. *Carbohydrate Polymers*, 255, 117471. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117471>
- Pérez-Vergara, L. D., Cifuentes, M. T., Franco, A. P., Pérez-Cervera, C. E., & Andrade-Pizarro, R. D. (2020). Development and characterization of edible films based on native cassava starch, beeswax, and propolis. *NFS Journal*, 21, 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2020.09.002>
- Ramadhani, P. D., Supriyadi, S., Hendrasty, H. K., Laksana, E. M. B., & Santoso, U. (2023). Karakteristik edible film aktif berbasis kitosan dengan penambahan ekstrak daun jati. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 34(1), 1–12. <https://doi.org/10.6066/jtip.2023.34.1.1>

- Safitri ELD, Warkoyo W, Anggriani R. 2020. Safitri, E. L. D., Warkoyo, W., & Anggriani, R. (2020). Kajian karakteristik fisik dan mekanik edible film berbasis pati umbi suweg (*Amorphophallus paeoniifolius*) dengan variasi konsentrasi lilin lebah. *Food Technology and Halal Science Journal*, 3(1), 57–70. <https://doi.org/10.22219/fths.v3i1.13061>
- Sängerlaub, S., Schmid, M., & Müller, K. (2018). Comparison of water vapour transmission rates of monolayer films determined by water vapour sorption and permeation experiments. *Food Packaging and Shelf Life*, 17, 80–84. <https://doi.org/10.1016/j.foodpack.2018.06.004>
- Sari, N., Mairisya, M., Kurniasari, R., & Purnavita, S. (2019). Bioplastik berbasis galaktomanan hasil ekstraksi ampas kelapa dengan campuran polyvinyl alkohol. *Metana*, 15(2), 71–78. <https://doi.org/10.14710/metana.v15i2.24892>
- Sitompul, A. J. W. S., & Zubaidah, E. (2017). Pengaruh jenis dan konsentrasi plasticizer terhadap sifat fisik edible film kolang kaling (*Arenga pinnata*). *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 5(1), 13–25.
- Suh, J. H., Ock, S. Y., Park, G. D., Lee, M. H., & Park, H. J. (2020). Effect of moisture content on the heat-sealing property of starch films from different botanical sources. *Polymer Testing*, 89, 106612. <https://doi.org/10.1016/j.polymeresting.2020.106612>
- Thivya, P., Bhosale, Y. K., Anandakumar, S., Hema, V., & Sinija, V. R. (2021). Development of active packaging film from sodium alginate/carboxymethyl cellulose containing shallot waste extracts for anti-browning of fresh-cut produce. *International Journal of Biological Macromolecules*, 188, 790–799. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.039>
- Vijayan SP, Aparna-S, Sahoo SK. 2023. Effect of Vijayan, S. P., Aparna, S., & Sahoo, S. K. (2023). Effect of beeswax on hydrophobicity, moisture resistance and transparency of UV curable linseed oil based coating for compostable paper packaging. *Industrial Crops and Products*, 197, 116645. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116645>
- Warkoyo, W., Haris, M. A., & Wahyudi, V. A. (2022). The physical, mechanical, barrier characteristics, and application of edible film from yellow sweet potato and aloe vera gel. *Agritech*, 42(4), 390–399. <https://doi.org/10.22146/agritech.68633>
- Warkoyo, W., Rahardjo, B., Marseno, D. W., & Karyadi, J. N. W. (2014). Sifat fisik, mekanik dan barrier edible film berbasis pati umbi kimpul (*Xanthosoma sagittifolium*) yang diinkorporasi dengan kalium sorbat. *Agritech*, 34(1), 72–81.
- Zhang, K., Chen, Q., Xiao, J., You, L., Zhu, S., Li, C., Fu, X. (2023). Physicochemical and functional properties of chitosan-based edible film incorporated with *Sargassum pallidum* polysaccharide nanoparticles. *Food Hydrocolloids*, 138, 108476. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108476>
- Zhang, Y., Rempel, C., & McLaren, D. (2014). Edible coating and film materials: carbohydrates. *Innovations in Food Packaging*, 305–323. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394601-0.00012-6>
- Zubaydah, W. O. S., & Sahumena, M. H. (2021). Fast dissolving oral film salbutamol sulfat dengan menggunakan polimer HPMC. *Indonesian Journal of Chemometrics and Pharmaceutical Analysis*, 133–142.
- Zuwanna, I., & Meilina, H. (2017). Pengemas makanan ramah lingkungan, berbasis limbah cair tahu (*whey*) sebagai *edible film*. Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana (SNP) Unsyiah 2017, 13 April 2017, Banda Aceh, Indonesia.