

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorik yang menggunakan Mixture Optimal Design untuk menyusun formulasi es krim probiotik tinggi serat. Rancangan tersebut digunakan untuk menentukan kombinasi proporsi tiga komponen campuran, yaitu tepung pisang agung, inulin, dan Greek yoghurt, berdasarkan batas minimum dan maksimum yang telah ditetapkan untuk masing-masing komponen. Dalam rancangan campuran (mixture design), proporsi masing-masing komponen saling bergantung karena jumlah keseluruhan komponen campuran harus memenuhi batas total yang telah ditentukan.

Tabel 1 Rentang Komposisi Bahan pada Formulasi Es Krim Probiotik

No	Bahan	Batas Minimum (%)	Batas Maksimum (%)
1.	Tepung pisang agung	8,0	12,0
2.	Inulin	5,2	6,2
3.	Greek yoghurt	20,0	25,0
4.	Susu UHT 3%	q.s.	q.s.
5.	Whipping cream	27,0	27,0
6.	Sukrosa	8,0	8,0
7.	Dekstrosa	4,0	4,0
8.	Skim milk powder	2,5	2,5
9.	Kuning telur	4,0	4,0
10.	CMC	0,2	0,2

Keterangan :

q.s. (quantum satis) menunjukkan jumlah susu UHT yang digunakan akan menyesuaikan hasil formulasi sehingga total campuran menjadi 100%.

Berdasarkan batas komponen tersebut, perangkat lunak Design-Expert® menghasilkan 17 run atau titik percobaan. Titik percobaan terdiri atas titik edge, interior, dan vertex dalam ruang desain (design space). Beberapa run memiliki komposisi campuran yang sama dan digunakan sebagai pengulangan pada titik

formulasi tersebut. Rancangan formulasi yang dihasilkan oleh perangkat lunak Design-Expert® disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Formulasi Es Krim Probiotik Tinggi Serat Hasil Mixture Optimal Design

			Component 1	Component 2	Component 3
Block	Run	Space Type	A:Tepung pisang	B:Inulin	C:Yoghurt
Hari 1	1	Edge	10,07	6,20	23,73
Hari 1	2	Edge	11,48	5,20	23,32
Hari 1	3	Interior	10,98	5,70	23,32
Hari 1	4	Interior	10,98	5,70	23,32
Hari 1	5	Edge	10,83	5,20	23,97
Hari 1	6	Vertex	12,00	6,20	21,80
Hari 1	7	Edge	10,07	6,20	23,73
Hari 1	8	Edge	9,02	5,98	25,00
Hari 1	9	Edge	9,02	5,98	25,00
Hari 1	10	Interior	10,98	5,70	23,32
Hari 2	11	Interior	10,19	5,46	24,36
Hari 2	12	Interior	11,33	6,17	22,50
Hari 2	13	Interior	10,91	5,68	23,42
Hari 2	14	Vertex	9,80	5,20	25,00
Hari 2	15	Interior	9,56	6,09	24,36
Hari 2	16	Interior	10,91	5,68	23,42
Hari 2	17	Vertex	12,00	5,20	22,80

Pengulangan pada penelitian ini ditunjukkan oleh adanya beberapa run yang memiliki komposisi campuran yang sama. Berdasarkan rancangan yang dihasilkan, pengulangan terdapat pada Run 1 dan Run 7 dengan komposisi tepung pisang agung 10,07%, inulin 6,20%, dan Greek yoghurt 23,73%; Run 3, Run 4, dan Run 10 dengan komposisi tepung pisang agung 10,98%, inulin 5,70%, dan Greek yoghurt 23,32%; Run 8 dan Run 9 dengan komposisi tepung pisang agung 9,02%, inulin 5,98%, dan Greek yoghurt 25,00%; serta Run 13 dan Run 16 dengan komposisi tepung pisang agung 10,91%, inulin 5,68%, dan Greek yoghurt 23,42%.

Pengulangan pada titik campuran yang sama memberikan pengamatan berulang terhadap respon pada komposisi yang sama sehingga dapat digunakan untuk mengestimasi pure error atau variasi acak percobaan. Informasi pure error tersebut selanjutnya digunakan dalam evaluasi kecocokan model (lack of fit) pada analisis Mixture Optimal Design.

Randomisasi dilakukan untuk mengurangi kemungkinan pengaruh urutan pelaksanaan percobaan terhadap hasil pengamatan. Urutan pembuatan dan pengujian sampel dalam masing-masing block ditentukan secara acak, sedangkan komposisi masing-masing sampel tetap mengikuti formulasi yang telah ditetapkan oleh Mixture Optimal Design. Dengan demikian, nomor run pada Tabel 2 menunjukkan identitas titik percobaan dalam rancangan Design-Expert®, sedangkan urutan pelaksanaan menunjukkan urutan pengerjaan sampel di laboratorium.

Pelaksanaan penelitian dibagi menjadi dua block, yaitu Hari 1 dan Hari 2. Pembagian block dilakukan berdasarkan waktu pelaksanaan percobaan untuk mengendalikan kemungkinan adanya variasi kondisi antarahari selama proses pembuatan dan pengujian sampel. Pembagian block tidak mengubah komposisi formulasi yang telah ditetapkan oleh rancangan Mixture Optimal Design. Setiap run tetap diperlakukan sebagai titik percobaan sesuai dengan rancangan yang telah dihasilkan oleh perangkat lunak Design-Expert®.

B. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli 2026 bertempat di:

1. Laboratorium IBM/ITP Jurusan Gizi Politeknik Kesehatan Kemenkes Malang untuk proses pembuatan es krim probiotik berbasis tepung pisang agung serta pengujian karakteristik fisik yang meliputi densitas (density), overrun, waktu mulai meleleh (initial melting time), laju pelelehan (melting rate), draw temperature, dan kekerasan (hardness).
2. Laboratorium Analisis Makanan dan Minuman Jurusan Analis Farmasi dan Makanan Politeknik Kesehatan Kemenkes Malang untuk pengujian Total Soluble Solid (TSS) dan nilai pH es krim probiotik.

3. Laboratorium UCR Jurusan Gizi Politeknik Kesehatan Kemenkes Malang untuk pelaksanaan uji karakteristik organoleptik es krim probiotik.

C. Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah proporsi tepung pisang agung (*Musa paradisiaca*), inulin, dan Greek yoghurt dalam formulasi es krim probiotik.

2. Variabel Terikat

- a. Karakteristik Fisik (density, overrun, melting point, draw temperature, melting rate, total soluble solid, kekerasan)
- b. Nilai pH
- c. Karakteristik Organoleptik (warna, penampilan, aroma, rasa manis, tekstur, sensasi kristal es, kesegaran, chewiness, aftertaste, dan penerimaan keseluruhan (overall acceptability))

D. Definisi Operasional Variabel

Tabel 3 Definisi Operasional Variabel Penelitian

No	Variabel	Definisi	Metode dan Alat Ukur	Skala Ukur
1.	Proporsi tepung pisang agung, inulin, dan Greek yoghurt	Jumlah penggunaan tepung pisang agung, inulin, dan Greek yoghurt dalam formulasi es krim probiotik berdasarkan total bahan penyusun adonan (b/b).	Penimbangan bahan menggunakan timbangan digital sesuai formulasi yang dihasilkan oleh perangkat lunak Design-Expert®.	Rasio
2.	Densitas	Massa es krim per satuan volume setelah proses pembekuan. Hasil dinyatakan dalam satuan g/cm ³ .	Massa diukur menggunakan timbangan digital dan volume menggunakan gelas ukur, kemudian dihitung sebagai massa per satuan volume (Muse & Hartel, 2004).	Rasio
3.	Overrun	Persentase udara yang masuk ke dalam es krim selama proses pembekuan dan pengadukan. Hasil dinyatakan dalam persen (%).	Dihitung berdasarkan perbedaan berat adonan dan es krim pada volume yang sama menggunakan timbangan digital (Tolve et al., 2024).	Rasio

No	Variabel	Definisi	Metode dan Alat Ukur	Skala Ukur
4.	Melting rate	Kecepatan pelelehan es krim pada suhu ruang. Hasil dinyatakan dalam gram per menit (g/menit).	Jumlah lelehan diukur menggunakan timbangan digital dan stopwatch pada suhu ruang (Marimon-Valverde et al., 2024; Tolve et al., 2024).	Rasio
5.	Melting point	Waktu yang dibutuhkan es krim hingga terbentuk tetesan pertama pada suhu ruang. Hasil dinyatakan dalam satuan menit.	Pengamatan dilakukan menggunakan stopwatch sejak sampel dikeluarkan dari freezer hingga terbentuk tetesan pertama pada suhu ruang (Muse & Hartel, 2004).	Rasio
6.	Total Soluble Solid	Jumlah padatan terlarut yang terdapat dalam produk es krim, terutama berasal dari gula, asam organik, mineral, dan komponen terlarut lainnya. Hasil pengukuran dinyatakan dalam derajat Brix ($^{\circ}$ Brix).	Pengukuran dilakukan menggunakan hand refractometer. Sampel es krim terlebih dahulu dicairkan hingga homogen, kemudian diteteskan pada prisma refraktometer dan nilai yang terbaca dinyatakan dalam $^{\circ}$ Brix (AOAC, 2005).	Rasio
7.	Draw temperature	Suhu adonan es krim saat keluar dari mesin pembeku (<i>batch freezer</i>). Hasil dinyatakan dalam derajat Celcius ($^{\circ}$ C).	Diukur menggunakan termometer setelah proses pembekuan (Goff & Hartel, 2013).	Interval
8.	Kekerasan (Hardness)	Tingkat kekerasan es krim setelah proses pembekuan yang ditentukan berdasarkan nilai penetrasi kerucut penetrometer. Nilai hardness diperoleh dari hasil penetrasi yang dihitung menggunakan rumus nilai penetrasi (mm) dibagi faktor kalibrasi ($102,5/10 = 10,25$) sesuai prosedur Laboratorium IBM/ITP.	Diukur menggunakan penetrometer (Alfaifi & Stathopoulos, 2010).	Rasio
9.	pH	Derajat keasaman es krim probiotik. Hasil dinyatakan sebagai nilai pH.	Diukur menggunakan pH meter digital yang telah dikalibrasi (AOAC, 2023).	Interval

No	Variabel	Definisi	Metode dan Alat Ukur	Skala Ukur
10.	Karakteristik organoleptik	Tingkat penerimaan panelis terhadap karakteristik sensorik es krim yang meliputi warna, penampilan, aroma, tingkat kemanisan, tekstur, sensasi kristal es, kesegaran, chewiness, aftertaste, dan penerimaan keseluruhan.	Uji hedonik 9 poin menggunakan lembar penilaian oleh 30 panelis semi-terlatih (Setyaningsih et al., 2010).	Ordinal

E. Alat dan Bahan

1. Alat

a. Pembuatan Es Krim Probiotik Pisang Agung

Alat yang digunakan dalam pembuatan es krim probiotik meliputi timbangan digital, gelas ukur, spatula, sendok, wadah plastik food grade, whisker, termometer, baskom, panci tim, kompor untuk proses pemanasan, termometer, serta ice cream maker, dan alat pendukung lainnya.

- b. Analisis derajat keasaman (pH) menggunakan pH meter digital.
- c. Analisis overrun menggunakan timbangan digital dan wadah berukuran tetap.
- d. Analisis density menggunakan timbangan digital dan gelas ukur.
- e. Analisis melting point dan melting rate menggunakan stopwatch, saringan, dan wadah penampung lelehan.
- f. Analisis total soluble solid menggunakan refraktometer
- g. Analisis kekerasan (hardness) menggunakan penetrometer.
- h. Analisis draw temperature menggunakan termometer.
- i. Analisis karakteristik organoleptik menggunakan formulir uji hedonik, cup atau wadah sampel, sendok, dan label kode sampel.
- j. Perangkat komputer yang dilengkapi dengan perangkat lunak Design-Expert digunakan untuk menyusun rancangan formulasi Mixture Optimal yang menghasilkan 17 formulasi percobaan serta untuk

menganalisis pengaruh variasi proporsi tepung pisang agung, inulin, dan Greek yoghurt terhadap respon yang diamati.

2. Bahan

Tabel 4 Spesifikasi Bahan Pembuatan Es Krim Probiotik

Bahan	Spesifikasi	Gambar
Susu UHT	Susu UHT full cream merk Ultra Milk	
Pisang agung	Matang fisiologis, kulit hijau, daging buah padat dan berwarna putih hingga putih krem, tidak busuk atau berjamur.	
Krim susu	Krim susu (whipping cream) merk Anchor yang disimpan dalam kondisi dingin.	
Greek Yoghurt	Greek Yoghurt merk Heavenly Blush dengan masa produksi yang paling dekat	
Sukrosa	Gula pasir merk gulaku	
Dekstrosa	Dekstrosa merk ex lihua	
Inulin	Inulin merk Boneo Orafiti	

Bahan	Spesifikasi	Gambar
Stabilisator/ CMC	Stabilisator/ CMC merk ex lihong	
Kuning telur	Kuning telur ayam segar yang dipisahkan dari putih telur sesaat sebelum digunakan.	

F. Tahapan Penelitian

1. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk menentukan rentang penggunaan masing-masing komponen penyusun formulasi es krim probiotik, yaitu tepung pisang agung, inulin, dan Greek yoghurt. Penentuan batas minimum dan maksimum setiap komponen bertujuan untuk memperoleh rentang formulasi yang menghasilkan karakteristik es krim yang baik berdasarkan kajian literatur dan uji pendahuluan.

Penentuan rentang formulasi dilakukan melalui studi literatur mengenai formulasi es krim probiotik, pemanfaatan tepung pisang sebagai bahan pangan fungsional, penggunaan inulin sebagai prebiotik, serta penggunaan Greek yoghurt sebagai sumber probiotik. Selain itu, penentuan rentang formulasi juga mempertimbangkan fungsi masing-masing bahan dalam sistem es krim serta persyaratan mutu es krim berdasarkan SNI 3713:2018 tentang Es Krim.

Berdasarkan hasil studi literatur dan uji pendahuluan, ditetapkan batas bawah (minimum) dan batas atas (maksimum) untuk masing-masing komponen. Rentang tersebut kemudian digunakan sebagai dasar penyusunan rancangan campuran menggunakan perangkat lunak Design-Expert dengan metode Mixture Optimal, sehingga diperoleh 17 formulasi percobaan yang digunakan sebagai perlakuan dalam penelitian. Rentang penggunaan masing-masing komponen disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Rentang Formulasi Komponen Campuran

Komponen	Satuan	Minimum	Maksimum
Tepung pisang agung	%	8	12
Inulin	%	5,2	6,2
Greek yoghurt	%	20	25

2. Penelitian Utama

Perancangan formulasi es krim probiotik tinggi serat dilakukan menggunakan metode Mixture Optimal dengan bantuan perangkat lunak Design-Expert. Metode ini digunakan untuk menyusun kombinasi formulasi berdasarkan variasi proporsi tepung pisang agung, inulin, dan Greek yoghurt dengan jumlah total komponen campuran yang tetap.

Komponen yang divariasikan dalam penelitian ini meliputi tepung pisang agung, inulin, dan Greek yoghurt, sedangkan komponen lainnya dipertahankan dalam jumlah tetap sesuai formulasi dasar. Rentang minimum dan maksimum masing-masing komponen ditetapkan berdasarkan hasil penelitian pendahuluan.

Berdasarkan batas formulasi yang telah ditentukan, perangkat lunak Design-Expert menghasilkan 17 formulasi (runs) sebagai perlakuan penelitian. Seluruh formulasi kemudian dibuat dan diuji terhadap karakteristik fisik serta karakteristik organoleptik.

Data hasil pengujian setiap formulasi selanjutnya dianalisis menggunakan perangkat lunak Design-Expert untuk mengetahui pengaruh variasi proporsi tepung pisang agung, inulin, dan Greek yoghurt terhadap karakteristik fisik dan organoleptik es krim probiotik. Rancangan formulasi hasil metode Mixture Optimal disajikan pada Lampiran 2.

G. Prosedur Penelitian

1. Persiapan Bahan

Seluruh bahan yang digunakan dalam penelitian disiapkan sesuai dengan formulasi yang telah ditentukan. Bahan meliputi susu UHT, krim susu, yoghurt probiotik, tepung pisang agung, sukrosa, dekstrosa, inulin,

CMC, dan kuning telur. Bahan ditimbang menggunakan timbangan digital sesuai dengan kebutuhan masing-masing perlakuan.

Tepung pisang agung yang digunakan merupakan tepung dengan kadar air rendah, telah diayak hingga ukuran partikel seragam, dan disimpan dalam kondisi kering. Semua bahan dipastikan dalam kondisi baik, tidak kedaluwarsa, dan layak konsumsi (food grade).

2. Pembuatan Es Krim Probiotik

Proses pembuatan es krim probiotik pada penelitian ini dimodifikasi dari metode yang dikembangkan oleh Marshall, Goff & Hartel (2013), (Akalin & Erişir, 2008), serta Cruz et al. (2009), dengan penyesuaian pada penggunaan tepung pisang agung dan inulin sebagai sumber prebiotik serta Greek yoghurt sebagai sumber probiotik.

- a. Susu UHT dan whipping cream dicampurkan dalam wadah stainless steel, kemudian dipanaskan sambil diaduk hingga mencapai suhu 40–50°C untuk mempermudah proses pelarutan bahan kering (Goff & Hartel, 2013).
- b. Sukrosa, dekstrosa, tepung pisang agung, inulin, dan skim milk powder ditambahkan secara bertahap ke dalam campuran sambil diaduk hingga seluruh bahan terdispersi secara merata (Goff & Hartel, 2013).
- c. Carboxymethyl cellulose (CMC) terlebih dahulu dicampurkan dengan sebagian sukrosa untuk mencegah penggumpalan, kemudian ditambahkan ke dalam campuran dan diaduk hingga homogen (Goff & Hartel, 2013).
- d. Kuning telur yang telah dikocok ditambahkan ke dalam campuran sambil terus diaduk hingga tercampur merata (Goff & Hartel, 2013).
- e. Campuran dipasteurisasi pada suhu 80°C selama 15 detik sambil diaduk secara konstan. Tahap ini bertujuan menurunkan jumlah mikroorganisme kontaminan, meningkatkan hidrasi protein susu dan bahan penstabil, serta memperbaiki tekstur campuran es krim (Goff & Hartel, 2013 ; AOAC INTERNATIONAL, 2023).

- f. Setelah proses pasteurisasi selesai, campuran didinginkan hingga mencapai suhu 37–40°C sebelum penambahan greek yoghurt untuk mencegah kerusakan sel bakteri akibat suhu tinggi (Goff & Hartel, 2013).
- g. Greek yoghurt probiotik ditambahkan ke dalam campuran, kemudian diaduk perlahan hingga homogen. Penambahan yoghurt pada suhu tersebut bertujuan mempertahankan viabilitas bakteri asam laktat selama proses pengolahan (Ranadheera et al., 2018).
- h. Campuran selanjutnya disimpan pada suhu $\pm 5^{\circ}\text{C}$ selama 18–24 jam (aging). Tahap aging bertujuan meningkatkan hidrasi protein, lemak, tepung pisang agung, inulin, dan bahan penstabil sehingga menghasilkan tekstur es krim yang lebih halus dan stabil (Goff & Hartel, 2013).
- i. Setelah proses aging selesai, adonan dibekukan menggunakan ice cream maker hingga terbentuk es krim dengan tekstur semi padat dan terjadi pembentukan overrun yang optimal (Goff & Hartel, 2013).
- j. Es krim kemudian dikemas dalam wadah tertutup dan dilakukan proses hardening pada suhu $\pm -18^{\circ}\text{C}$ selama minimal 24 jam untuk memperoleh struktur es krim yang lebih stabil dan dianalisis lebih lanjut (Goff & Hartel, 2013).

H. Metode Analisis

1. Analisis Karakteristik Fisik

Analisis Karakteristik fisik dilakukan untuk mengetahui karakteristik fisik es krim probiotik yang dihasilkan dari setiap formula. Parameter Karakteristik fisik yang dianalisis meliputi:

a. Densitas (g/cm^3)

Pengukuran densitas dilakukan untuk mengetahui tingkat kerapatan es krim setelah proses pembekuan. Sampel dimasukkan ke dalam wadah yang memiliki volume tetap, kemudian ditimbang menggunakan timbangan digital. Nilai densitas dihitung berdasarkan perbandingan massa sampel terhadap volumenya menggunakan rumus berikut.

$$\text{Density} = \text{Massa (g)} / \text{Volume (cm}^3\text{)}$$

Hasil pengukuran dinyatakan dalam satuan g/cm^3 dan setiap perlakuan dianalisis sebanyak tiga kali ulangan, kemudian dihitung nilai rata-ratanya untuk keperluan analisis data (Muse & Hartel, 2004).

b. Overrun (%)

Pengukuran overrun dilakukan untuk mengetahui persentase udara yang terperangkap dalam es krim selama proses pembekuan. Sampel adonan sebelum pembekuan dan es krim setelah churning dimasukkan ke dalam wadah dengan volume yang sama, kemudian ditimbang menggunakan timbangan digital. Nilai overrun dihitung menggunakan rumus berikut.

$$\text{Overrun (\%)} = [(\text{Berat adonan} - \text{Berat es krim}) / \text{Berat es krim}] \times 100$$

Hasil pengukuran dinyatakan dalam satuan persen (%) dan setiap perlakuan dianalisis sebanyak tiga kali ulangan, kemudian dihitung nilai rata-ratanya untuk keperluan analisis data (Tolve et al., 2024).

c. Laju pelelehan (melting rate)

Pengukuran melting rate dilakukan untuk mengetahui kecepatan pelelehan es krim pada suhu ruang. Sampel diletakkan di atas saringan dengan wadah penampung di bawahnya, kemudian dibiarkan meleleh secara alami. Lelehan yang terbentuk ditimbang pada waktu tertentu menggunakan timbangan digital. Nilai melting rate dihitung menggunakan rumus berikut.

$$\text{Melting Rate (g/menit)} = \text{Berat lelehan (g)} / \text{Waktu pelelehan (menit)}$$

Hasil pengukuran dinyatakan dalam satuan gram per menit (g/menit). Setiap perlakuan diuji sebanyak tiga kali ulangan, kemudian dihitung nilai rata-ratanya sebagai dasar analisis data (Marimon-Valverde et al., 2024; Tolve et al., 2024).

d. Titik leleh (melting point)

Pengukuran melting point dilakukan untuk mengetahui ketahanan awal es krim terhadap pelelehan pada suhu ruang. Sampel diletakkan di atas saringan dan waktu dihitung sejak sampel dikeluarkan dari freezer

hingga terbentuk tetesan pertama menggunakan stopwatch. Hasil pengukuran dinyatakan dalam menit dan setiap perlakuan diuji sebanyak tiga kali ulangan (Gentara et al., 2024).

e. Total Soluble Solid

Pengukuran total soluble solid (TSS) dilakukan menggunakan metode refraktometri. Sampel es krim/sorbet dicairkan terlebih dahulu pada suhu ruang hingga homogen, kemudian sebanyak beberapa tetes sampel diteteskan pada prisma refraktometer. Nilai TSS dibaca berdasarkan skala yang tertera pada alat dan dinyatakan dalam satuan °Brix. Sebelum pengukuran dilakukan, refraktometer dikalibrasi menggunakan akuades untuk memastikan ketepatan hasil pengukuran.

Hasil pengukuran dinyatakan dalam °Brix dan setiap perlakuan dianalisis sebanyak tiga kali ulangan, kemudian dihitung nilai rata-ratanya untuk keperluan analisis data (AOAC, 2023; Goff & Hartel, 2013).

f. Kekerasan

Pengukuran kekerasan dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan es krim setelah proses pembekuan. Sampel yang telah disimpan pada suhu $\pm -18^{\circ}\text{C}$ ditempatkan dalam wadah pengujian, kemudian diukur menggunakan penetrometer yang dilengkapi dengan probe stainless steel berbobot 45 g dan kerucut 60° . Probe diletakkan tepat di permukaan sampel dan dibiarkan menembus es krim selama 5 detik di bawah gaya gravitasi. Nilai penetrasi yang diperoleh dicatat sebagai indikator kekerasan sampel. Hasil pengukuran dinyatakan dalam satuan 0,1 mm (sepersepuluh milimeter) dan setiap perlakuan diuji sebanyak tiga kali ulangan, kemudian dihitung nilai rata-ratanya untuk analisis data (Alfaifi & Stathopoulos, 2010).

g. Draw Temperature

Pengukuran draw temperature dilakukan untuk mengetahui suhu es krim setelah proses pembekuan dan pengadukan (churning). Suhu es krim diukur segera setelah produk dikeluarkan dari ice cream maker menggunakan termometer digital yang ditusukkan ke bagian tengah

sampel hingga pembacaan stabil. Nilai suhu yang diperoleh dicatat dalam satuan derajat Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Hasil pengukuran dinyatakan dalam satuan $^{\circ}\text{C}$ dan setiap perlakuan diuji sebanyak tiga kali ulangan, kemudian dihitung nilai rata-ratanya untuk analisis data (Goff & Hartel, 2013; Marshall et al., 2013).

2. Analisis Nilai pH

Pengukuran nilai pH dilakukan untuk mengetahui tingkat keasaman es krim probiotik yang dihasilkan dari setiap formula. Sampel es krim dicairkan terlebih dahulu hingga homogen, kemudian dilakukan pengukuran menggunakan pH meter yang telah dikalibrasi menggunakan larutan buffer standar pH 4,0 dan pH 7,0. Elektroda pH meter dicelupkan ke dalam sampel hingga diperoleh pembacaan yang stabil, kemudian nilai pH dicatat.

Hasil pengukuran dinyatakan dalam nilai pH. Setiap perlakuan dianalisis sebanyak tiga kali ulangan, kemudian dihitung nilai rata-ratanya untuk keperluan analisis data (Manurung et al., 2024).

3. Analisis Karakteristik Organoleptik

Analisis karakteristik organoleptik dilakukan menggunakan uji hedonik untuk mengetahui tingkat penerimaan panelis terhadap es krim probiotik pada setiap formulasi. Penilaian dilakukan oleh panelis agak terlatih menggunakan lembar penilaian hedonik dengan skala hedonik 9 poin (9-point hedonic scale), yaitu:

1 = sangat tidak suka

2 = tidak suka

3 = cukup tidak suka

4 = sedikit tidak suka

5 = netral

6 = sedikit suka

7 = cukup suka

8 = suka

9 = sangat suka.

Atribut sensori yang dinilai meliputi warna, penampilan, aroma, rasa manis, tekstur, sensasi kristal es, kesegaran, chewiness, aftertaste, dan penerimaan keseluruhan (overall acceptability). Penilaian dilakukan secara individual pada ruang uji sensori yang telah memenuhi persyaratan pengujian organoleptik. Sebelum pengujian, panelis diberikan penjelasan mengenai tata cara pengisian formulir penilaian untuk meminimalkan bias selama pengujian.

Data hasil uji hedonik dianalisis untuk mengetahui tingkat penerimaan panelis terhadap masing-masing formulasi es krim probiotik dan digunakan sebagai salah satu respons (response) dalam penentuan formula optimum menggunakan perangkat lunak Design-Expert®. Pelaksanaan uji organoleptik mengacu pada metode evaluasi sensori yang dikemukakan oleh Setyaningsih et al. (2010) serta pedoman pemilihan dan penggunaan panelis berdasarkan SNI ISO 11136:2016.

I. Pengolahan dan Analisis Data

Data hasil pengujian karakteristik fisik dan karakteristik organoleptik diolah menggunakan perangkat lunak Design-Expert dengan metode Mixture Optimal. Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi proporsi tepung pisang agung, inulin, dan Greek yoghurt terhadap setiap respon yang diamati.

Pemodelan dilakukan menggunakan model campuran (mixture model) yang tersedia pada perangkat lunak Design-Expert. Pemilihan model terbaik didasarkan pada nilai Sequential Model Sum of Squares, Lack of Fit, koefisien determinasi (R^2), Adjusted R^2 , Predicted R^2 , dan Adequate Precision. Model dipilih apabila signifikan ($p < 0,05$), memiliki nilai Lack of Fit yang tidak signifikan ($p > 0,05$), serta memenuhi kriteria statistik yang ditetapkan.

Selanjutnya dilakukan Analysis of Variance (ANOVA) untuk mengetahui pengaruh variasi proporsi tepung pisang agung, inulin, dan Greek yoghurt terhadap masing-masing respon. Hubungan antara proporsi komponen campuran dan respon yang diamati disajikan dalam bentuk persamaan matematis, grafik kontur (contour plot), dan grafik permukaan respon (response surface plot).