

OPTIMASI FORMULASI SUSU NABATI SACHA INCHI (*Plukenetia volubilis L.*) PADA VARIASI KONSENTRASI NATRIUM KASEINAT, MONODIGLISERIDA, DAN STEVIA MENGGUNAKAN METODE MIXTURE D-OPTIMAL

TUGAS AKHIR

**Karya tulis sebagai salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik dari
Universitas Pasundan**

Oleh :

Lovita Meilani Marwah

22.302.0026



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI PANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2026**

ABSTRAK

OPTIMASI FORMULASI SUSU NABATI SACHA INCHI (*Plukenetia volubilis* L.) PADA VARIASI KONSENTRASI NATRIUM KASEINAT, MONODIGLISERIDA, DAN STEVIA MENGGUNAKAN METODE MIXTURE D-OPTIMAL

Oleh :

Lovita Meilani Marwah
NPM : 223020026
(Program Studi Teknologi Pangan)

Susu nabati sachinchi merupakan alternatif produk pangan berbasis nabati yang berpotensi sebagai sumber protein dan asam lemak esensial, namun rentan mengalami ketidakstabilan emulsi apabila tidak diformulasikan dengan tepat. Penelitian ini bertujuan untuk merumuskan formulasi optimal susu nabati sachinchi (*Plukenetia volubilis* L.) dengan penambahan natrium kaseinat dan monodigliserida sebagai emulsifier serta stevia sebagai pemanis alami, sehingga dihasilkan produk dengan karakteristik fisik, kimia, dan sensoris yang optimal menggunakan metode *Design Expert Mixture D-Optimal*. Variabel berubah dalam penelitian ini meliputi natrium kaseinat (0,90%-1,50%), monodigliserida (0,20%-0,80%), dan stevia (0,07%-0,10%). Respon yang dianalisis mencakup respon fisik (stabilitas emulsi dan viskositas), respon kimia (kadar protein, kadar lemak, dan kadar karbohidrat), serta respon organoleptik hedonik (warna, aroma, rasa, *aftertaste*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Design Expert* metode *Mixture D-Optimal* menghasilkan formulasi optimal dengan komposisi natrium kaseinat 1,07826%, monodigliserida 0,621744%, dan stevia 0,1%, serta nilai *desirability* sebesar 0,817. Hasil verifikasi formulasi optimal menunjukkan stabilitas emulsi 90,96%, viskositas 3,99 cP, kadar protein 3,57%, kadar lemak 6,00%, dan kadar karbohidrat 1,07%. Pada respon organoleptik, formulasi optimal memperoleh skor warna 4,80 (suka), aroma 3,47 (agak tidak suka), rasa 3,67 (agak suka), dan *aftertaste* 3,17 (agak tidak suka). Seluruh nilai aktual hasil verifikasi tersebut berada dalam rentang *Prediction Interval* (PI) 95,00% yang dihasilkan oleh *software Design Expert*.

Kata Kunci : Susu Nabati Sachinchi, Natrium Kaseinat, Monodigliserida, Stevia, *Mixture D-Optimal*, *Design Expert*.

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF SACHA INCHI (*Plukenetia volubilis* L.) PLANT-BASED MILK FORMULATION AT VARIOUS CONCENTRATIONS OF SODIUM CASEINATE, MONODIGLYCERIDE, AND STEVIA USING THE MIXTURE D-OPTIMAL METHOD

By :

Lovita Meilani Marwah

NPM : 223020026

(Department of Food Technology)

*Sacha inchi plant-based milk is a plant-based food alternative with potential as a source of protein and essential fatty acids, yet it is prone to emulsion instability when not properly formulated. This study aimed to formulate an optimal formula for sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) plant-based milk with the addition of sodium caseinate and monodiglyceride as emulsifiers and stevia as a natural sweetener, resulting in a product with optimal physical, chemical, and sensory characteristics using the Design Expert Mixture D-Optimal method. The independent variables in this study included sodium caseinate (0,90%-1,50%), monodiglyceride (0,20%-0,80%), and stevia (0,07%-0,10%). The responses analyzed covered physical responses (emulsion stability and viscosity), chemical responses (protein, fat, and carbohydrate content), and hedonic organoleptic responses (color, aroma, taste, and aftertaste). The results showed that the Design Expert method Mixture D-Optimal produced an optimal formulation consisting of 1,07826% sodium caseinate, 0,621744% monodiglyceride, and 0,1% stevia, with a desirability value of 0,817. Verification of the optimal formulation showed an emulsion stability of 90,96%, viscosity of 3,99 cP, protein content of 3,57%, fat content of 6,00%, and carbohydrate content of 1,07%. For the organoleptic responses, the optimal formulation obtained a color score of 4,80 (liked), aroma score of 3,47 (slightly disliked), taste score of 3,67 (slightly liked), and aftertaste score of 3,17 (slightly disliked). All actual verification values were within the Prediction Interval (PI) 95,00% generated by the Design Expert software.*

Keywords: *Sacha Inchi Plant-Based Milk, Sodium Caseinate, Monodiglyceride, Stevia, Mixture D-Optimal, Design Expert.*

OPTIMASI FORMULASI SUSU NABATI SACHA INCHI (*Plukenetia volubilis L.*) PADA VARIASI KONSENTRASI NATRIUM KASEINAT, MONODIGLISERIDA, DAN STEVIA MENGGUNAKAN METODE MIXTURE D-OPTIMAL

TUGAS AKHIR

**Karya tulis sebagai salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik dari
Universitas Pasundan**

Oleh :

Lovita Meilani Marwah

22.302.0026

Menyetujui :

Pembimbing



(Prof. Dr. Ir. Yusman Taufik, M.P.)

OPTIMASI FORMULASI SUSU NABATI SACHA INCHI (*Plukenetia volubilis L.*) PADA VARIASI KONSENTRASI NATRIUM KASEINAT, MONODIGLISERIDA, DAN STEVIA MENGGUNAKAN METODE MIXTURE D-OPTIMAL

TUGAS AKHIR

**Karya tulis sebagai salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik dari
Universitas Pasundan**

Oleh :

Lovita Meilani Marwah

22.302.0026

Menyetujui :

**Koordinator Belmawabud
(Pembelajaran, Kemahasiswaan, Alumni, Agama dan Budaya)**



(Rizal Maulana Ghaffar, S.T., M.T.)

PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tertera di Perpustakaan Fakultas dan Universitas, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di Universitas Pasundan. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kaidah ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Sitasi hasil penelitian Tugas Akhir ini dapat ditulis dalam bahasa Indonesia sebagai berikut:

Marwah, L. M. 2026. *Optimasi Formulasi Susu Nabati Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) Pada Variasi Konsentrasi Natrium Kaseinat, Monodigliserida, dan Stevia Menggunakan Metode Mixture D-Optimal*, Tugas Akhir Program Sarjana, Universitas Pasundan.

dan dalam bahasa Inggris sebagai berikut:

Marwah, L. M. 2026. *Optimization of Sacha Inchi Plukenetia volubilis L.) Plant-Based Milk Formulation at Various Concentrations of Sodium Caseinate, Monodiglyceride, and Stevia Using The Mixture D-Optimal Method, Bachelor's Thesis, Pasundan University.*

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh tugas akhir haruslah seizin Dekan Fakultas Teknik Universitas Pasundan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“OPTIMASI FORMULASI SUSU NABATI SACHA INCHI (*Plukenetia volubilis* L.) PADA VARIASI KONSENTRASI NATRIUM KASEINAT, MONODIGLISERIDA, DAN STEVIA MENGGUNAKAN METODE *MIXTURE D-OPTIMAL*”** dengan sebaik-baiknya.

Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini tidak lepas dari bimbingan, dukungan, maupun doa dari berbagai pihak. Maka dari itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Yusman Taufik, M.P. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberikan ilmu yang bermanfaat bagi penulis selama penyusunan laporan tugas akhir.
2. Dr. Tantan Widiantera, S. T., M. T. selaku dosen penguji I yang telah memberikan saran, masukan, dan ilmu yang bermanfaat bagi penulis untuk laporan tugas akhir ini.
3. Jaka Rukmana, S. T., M. T. selaku dosen penguji II yang telah memberikan saran, masukan, dan ilmu yang bermanfaat bagi penulis untuk laporan tugas akhir ini.
4. Kedua orang tua, Kakak, dan Adik yang selalu memberi dukungan kepada penulis, baik berupa doa, materi, dan motivasi selama penulisan laporan tugas akhir.

5. Sahabat penulis yaitu Salwa Nur Fakhira, Tarisa Azkia Putri Kurnia, Rosviani Azahra, Lulu Nasywaa Amalia, Zhara Kinanti Rahayu, Safana Gustiani Putri Nur Aulia, dan Pinasti Giwangkara yang selalu kebersamai sejak masa kuliah baik dalam hal akademik maupun non akademik serta selalu mendukung penulis selama penulisan laporan tugas akhir.
6. Teman satu bimbingan yaitu Siska Andriyani, Deastri Tazkia Dewi Winarsa, Dhara Nabila, Kamiliya Nailah Zain, dan Nindya Aulia Putri yang telah memotivasi dan membantu selama proses penulisan dan bimbingan laporan tugas akhir.
7. Kepada seluruh pihak terlibat yang tidak bisa disebutkan oleh penulis satu persatu.

Akhir kata, penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis berharap kritik dan saran yang membangun dari para pembaca guna perbaikan di masa yang akan datang. Semoga laporan tugas akhir ini bermanfaat khususnya bagi penulis dan umumnya bagi semua pihak yang membacanya.

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	ii
PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	5
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Kerangka Pemikiran.....	6
1.6 Hipotesis Penelitian.....	9
1.7 Waktu dan Tempat Penelitian.....	9
II TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1 Sacha Inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.).....	10
2.2 Bahan Tambahan Pangan	15
2.2.1 Natrium Kaseinat.....	15
2.2.2 Monodigliserida.....	17
2.2.3 Stevia	19
2.2.4 Garam.....	21
2.3 <i>Design Expert</i> Metode <i>Mixture D-Optimal</i>	21
III METODOLOGI PENELITIAN.....	24

3.1	Bahan dan Alat.....	24
3.1.1	Bahan	24
3.1.2	Alat	24
3.2	Metode Penelitian	25
3.2.1	Rancangan Penelitian.....	25
3.2.2	Rancangan Analisis	26
3.2.3	Rancangan Respon	27
3.3	Prosedur Penelitian.....	28
3.3.1	Tahapan I: Penelitian Pendahuluan	28
3.3.2	Tahapan II: Penelitian Utama.....	29
3.3.3	Tahapan III: Analisis Data dan Optimasi.....	32
3.3.4	Tahap IV: Verifikasi	36
3.3.5	Prosedur Pembuatan Susu Nabati Sacha Inchi.....	37
3.4	Jadwal Penelitian.....	42
IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	43
4.1	Hasil Penelitian Pendahuluan	43
4.2	Hasil Penelitian Utama	44
4.2.1	Hasil Analisis Respon Fisik	44
4.2.2	Hasil Analisis Respon Kimia	52
4.2.3	Hasil Analisis Respon Organoleptik.....	63
4.3	Penentuan Formulasi Optimal	80
4.3.1	Penetapan <i>Goal</i> dan <i>Importance</i>	80
4.3.2	Penentuan Formulasi Optimal.....	84
4.4	Verifikasi Formulasi Optimal	87
V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	89
5.1	Kesimpulan.....	89
5.2	Saran.....	89
	DAFTAR PUSTAKA.....	91
	LAMPIRAN	96

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kriteria Skala Hedonik	28
2. Variabel Tetap dalam Pembuatan Susu Nabati Sacha Inchi.....	28
3. Batas atas dan Batas bawah Variabel Berubah	29
4. Peringkat Nilai Kepentingan.....	32
5. Tingkat Importance Setiap Respon	32
6. Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	42
7. Batas Bawah dan Batas Atas Susu Nabati Sacha Inchi.....	44
8. Hasil Analisis Stabilitas Emulsi.....	45
9. ANOVA Analisis Stabilitas Emulsi	46
10. Hasil Analisis Viskositas	49
11. ANOVA Analisis Viskositas	50
12. Hasil Analisis Kadar Protein.....	53
13. ANOVA Kadar Protein	54
14. Hasil Analisis Kadar Lemak	57
15. ANOVA Kadar Lemak.....	58
16. Hasil Analisis Kadar Karbohidrat	60
17. ANOVA Kadar Karbohidrat	61
18. Hasil Analisis Organoleptik Atribut Warna	64
19. ANOVA Organoleptik Atribut Warna	65
20. Hasil Analisis Organoleptik Atribut Aroma	68

21.	ANOVA Organoleptik Atribut Aroma.....	69
22.	Hasil Analisis Respon Rasa	73
23.	ANOVA Respon Rasa.....	74
24.	Hasil Analisis Respon Aftertaste	76
25.	ANOVA Respon Aftertaste	77
26.	Penetapan Goal dan Importance Susu Nabati Sacha Inchi.....	80
27.	Solusi Formulasi Terpilih	85
28.	Rekomendasi Formulasi Optimal Produk	85
29.	Hasil Point Prediction pada Produk Susu Nabati Sacha Inchi..	85
30.	Hasil Verifikasi Formulasi Optimal Produk.....	88
31.	Formulasi Pembuatan Susu Nabati Sacha Inchi	96
32.	Perhitungan Kebutuhan Sampel.....	103
33.	Kebutuhan Bahan Penelitian.....	103
34.	Kebutuhan Analisis Penelitian.....	103
35.	Hasil Analisis Respon Fisik Stabilitas Emulsi.....	104
36.	Hasil Analisis Respon Fisik Viskositas.....	105
37.	Hasil Analisis Respon Kimia Kadar Protein	106
38.	Hasil Analisis Respon Kimia Kadar Lemak.....	106
39.	Hasil Analisis Kadar Air	107
40.	Hasil Analisis Kadar Abu	108
41.	Hasil Analisis Respon Kimia Kadar Karbohidrat	108
42.	Hasil Analisis Respon Organoleptik Atribut Warna	109
43.	Hasil Analisis Respon Organoleptik Atribut Aroma	110

44.	Hasil Analisis Respon Organoleptik Atribut Rasa.....	111
45.	Hasil Analisis Respon Organoleptik Atribut <i>Aftertaste</i>	112
46.	Hasil Verifikasi Analisis Stabilitas Emulsi	119
47.	Hasil Verifikasi Analisis Viskositas.....	119
48.	Hasil Verifikasi Analisis Kadar Protein	119
49.	Hasil Verifikasi Analisis Kadar Lemak.....	119
50.	Hasil Verifikasi Analisis Kadar Air	120
51.	Hasil Verifikasi Analisis Kadar Abu.....	120
52.	Hasil Verifikasi Analisis Kadar Karbohidrat.....	120
53.	Hasil Verifikasi Uji Organoleptik	121

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kacang Sacha Inchi.....	10
2. Batas Maksimum dan Minimum Natrium Kaseinat, Monodigli serida, dan Stevia	30
3. Laporan <i>Input Data (Runs)</i>	30
4. Satuan Analisis Respon	31
5. Hasil Formulasi (<i>Runs</i>).....	31
6. Diagram Alir Pembuatan Sari Sacha Inchi.....	39
7. Diagram Alir Pembuatan Susu Nabati Sacha Inchi	41
8. Grafik 3D Surface Stabilitas Emulsi	47
9. Grafik 3D Surface Viskositas	51
10. Grafik 3D Surface Analisis Kadar Protein	56
11. Grafik 3D Surface Analisis Kadar Lemak.....	59
12. Grafik 3D Surface Analisis Karbohidrat	63
13. Grafik 3D Surface Respon Warna.....	66
14. Grafik 3D Surface Respon Aroma	71
15. Grafik 3D Surface Respon Rasa	75
16. Grafik 3D Surface Respon Aftertaste.....	79
17. Grafik Surface Desirability Formula Optimal Produk	86

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Formulasi Pembuatan Susu Nabati Sacha Inchi	96
2. Analisis Viskositas (Makeri dkk., 2019)	96
3. Analisis Stabilitas Emulsi (Lapčíková, Valenta, dan Chvatíková, 2024).....	97
4. Analisis Kadar Protein Metode Formol (Sudarmadji dkk., 1989)	97
5. Analisis Kadar Lemak Metode Soxhlet (AOAC, 2005).....	99
6. Analisis Kadar Air Metode Gravimetri (AOAC, 2005)	99
7. Analisis Kadar Abu Metode Gravimetri (AOAC, 2005)	100
8. Analisis Kadar Karbohidrat Metode By Difference.....	101
9. Prosedur Uji Organoleptik (Kartika dkk., 1998)	101
10. Formulir Uji Organoleptik.....	102
11. Perhitungan Kebutuhan Sampel.....	103
12. Kebutuhan Bahan Penelitian.....	103
13. Kebutuhan Analisis Penelitian.....	103
14. Hasil Analisis Respon Fisik Susu Nabati Sacha Inchi	104
15. Hasil Analisis Respon Kimia Susu Nabati Sacha Inchi	105
16. Hasil Analisis Respon Organoleptik Susu Nabati Sacha Inchi.	109
17. Dokumentasi Pembuatan dan Analisis Susu Nabati Sacha Inchi	113
18. Verifikasi Formula Optimal.....	119

I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan mengenai: (1.1) Latar Belakang, (1.2) Identifikasi Masalah, (1.3) Maksud dan Tujuan Penelitian, (1.4) Manfaat Penelitian, (1.5) Kerangka Pemikiran, (1.6) Hipotesis Penelitian, dan (1.7) Waktu dan Tempat Penelitian.

1.1 Latar Belakang

Susu merupakan salah satu sumber protein hewani, kalsium, dan mikronutrien esensial yang memegang peranan penting dalam mendukung kualitas gizi yang baik untuk kesehatan dan pertumbuhan manusia. Kebutuhan susu di Indonesia terus meningkat seiring pertambahan jumlah penduduk dan meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap pemenuhan gizi yang seimbang. Namun, produksi susu nasional masih belum mampu memenuhi kebutuhan dalam negeri. Konsumsi susu nasional pada tahun 2023 mencapai 4,6 juta ton, sementara produksi susu nasional hanya mampu memenuhi sekitar 20% dari total kebutuhan, sehingga 80% sisanya masih dipenuhi melalui impor (Priyono dkk., 2023; Kefi Amtiran dkk., 2025). Kondisi tersebut menunjukkan perlunya pengembangan sumber pangan alternatif untuk mendukung pemenuhan kebutuhan susu nasional secara berkelanjutan.

Selain keterbatasan produksi, konsumsi susu sapi juga menghadapi kendala biologis pada sebagian masyarakat Indonesia. Intoleransi laktosa di Indonesia, yang dilaporkan meningkat seiring usia dan dapat mencapai lebih dari 70% pada kelompok usia tertentu, sehingga konsumsi susu sapi berpotensi menimbulkan

gangguan pencernaan bagi sebagian besar masyarakat (Hegar dan Widodo A, 2015). Kondisi ini mendorong meningkatnya pengembangan produk susu nabati sebagai alternatif non-susu yang lebih sesuai dengan kondisi biologis masyarakat. Selain itu, meningkatnya tren pola konsumsi berbasis nabati (*plant-based diet*) turut memperluas minat konsumen terhadap susu nabati akan kesadaran terhadap aspek kesehatan, lingkungan serta keterbatasan konsumsi hewani pada sebagian individu (Chandra dkk., 2022).

Susu nabati (*plant-based milk*) merupakan ekstrak yang larut dalam air (*water soluble extracts*) yang berasal dari *oilseeds*, sereal, *pseudocereals*, biji-bijian, dan/atau kacang-kacangan. Secara teknis, proses pembuatan susu nabati melibatkan proses perendaman bahan baku selama beberapa jam, penghancuran dengan air, serta penyaringan untuk memisahkan residu yang tidak larut. Selanjutnya, dilakukan penambahan komponen seperti flavor, gula, dan stabilizer, diikuti proses homogenisasi dan pasteurisasi untuk meningkatkan stabilitas produk akhir (Rincon, Botelho, dan Alencar, 2020). Seiring meningkatnya permintaan konsumen terhadap pangan fungsional, pengembangan produk susu nabati memiliki peluang dengan nilai tambah yang tinggi.

Salah satu komoditas yang mulai dikembangkan secara lokal di Indonesia dan memiliki potensi besar namun belum banyak dimanfaatkan dalam industri pangan olahan adalah biji Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L). Sacha inchi merupakan tanaman *oilseed* yang mengandung sekitar 22-30% protein, 45-50% lipid dengan komposisi 35,2-50,8% asam α -linolenat (omega-3) dan 33,4-41,0% asam linoleat (omega-6), yang merupakan dua asam lemak esensial bagi manusia.

Biji ini juga memiliki sifat antioksidan yang baik akibat kandungan tokoferol dan senyawa fenoliknya (Kodahl dan Sørensen, 2021). Kandungan gizi ini menjadikan sachai inchi berpotensi dikembangkan sebagai bahan baku susu nabati.

Meskipun memiliki potensi nutrisi yang tinggi, pengembangan susu nabati sachai inchi masih menghadapi beberapa kendala teknis. Kandungan lipid yang tinggi menyebabkan sistem emulsi rentan mengalami ketidakstabilan seperti sedimentasi maupun *creaming* selama penyimpanan (Munekata dkk., 2020). Selain itu, karakteristik rasa dan aroma khas sachai inchi dapat memengaruhi tingkat penerimaan konsumen (Ruiz dkk., 2025). Viskositas akibat komposisi bahan dan kondisi proses juga dapat memengaruhi tekstur dan mutu produk secara keseluruhan (Julian dkk., 2020 dalam Kasim dkk., 2025). Oleh karena itu, diperlukan formulasi yang tepat untuk menghasilkan susu nabati sachai inchi dengan karakteristik fisik, kimia, dan sensoris yang baik.

Keberhasilan formulasi susu nabati dipengaruhi oleh penggunaan emulsifier, stabilizer, dan pemanis yang sesuai. Natrium kaseinat merupakan emulsifier berbasis protein yang memiliki bagian hidrofilik dan hidrofobik sehingga mampu teradsorpsi pada antarmuka minyak dan air serta membentuk lapisan pelindung di sekitar droplet minyak untuk menghambat terjadinya koalesensi (Dickinson, 2001). Sementara itu, monodigliserida merupakan emulsifier berbasis lipid yang dapat menurunkan tegangan antarmuka minyak dan air serta membentuk penghalang sterik pada permukaan droplet sehingga dapat membantu meningkatkan kestabilan emulsi (Doxastakis dan Sherman, 1984). Penggunaan kedua emulsifier tersebut dilakukan karena keduanya memiliki mekanisme kerja

yang berbeda pada antarmuka minyak-air, sehingga kombinasi natrium kaseinat dan monodigliserida diharapkan dapat memberikan kestabilan emulsi yang lebih baik dibandingkan penggunaan satu jenis emulsifier saja. Kombinasi tersebut juga dapat memengaruhi karakteristik fisik produk, termasuk viskositas dan homogenitas, sehingga sesuai digunakan dalam formulasi susu nabati sachet inchi yang memiliki kandungan lipid relatif tinggi. Sementara itu, stevia digunakan sebagai pemanis non-kalori alami dengan tingkat kemanisan tinggi dan relatif aman bagi kesehatan. Kombinasi bahan-bahan tersebut diharapkan mampu menghasilkan susu nabati sachet inchi dengan stabilitas emulsi, viskositas, dan penerimaan sensoris yang optimal.

Penentuan konsentrasi natrium kaseinat, monodigliserida, dan stevia dalam sistem campuran memerlukan pendekatan optimasi yang tepat karena masing-masing komponen dapat saling berinteraksi dan memengaruhi karakteristik produk akhir. Pendekatan *trial-and-error* dinilai kurang efisien untuk sistem formulasi multi-komponen. Oleh karena itu, metode *Mixture D-Optimal* digunakan karena mampu mengoptimalkan formulasi campuran secara efisien dengan jumlah percobaan yang lebih minimal serta dapat memodelkan pengaruh proporsi masing-masing komponen terhadap respons produk (Cornell, 2002).

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas karakteristik sachet inchi maupun penggunaan natrium kaseinat dan monodigliserida pada produk emulsi pangan. Namun, penelitian mengenai optimasi formulasi susu nabati sachet inchi dengan kombinasi natrium kaseinat, monodigliserida, dan stevia menggunakan metode *Mixture D-Optimal* masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian mengenai

optimasi formulasi susu nabati sachta inchi pada variasi konsentrasi natrium kaseinat, monodigliserida, dan stevia menggunakan metode *Mixture D-Optimal* penting dilakukan untuk memperoleh formulasi susu nabati dengan karakteristik fisik, kimia, dan sensoris yang optimal.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka masalah yang dapat diidentifikasi yaitu bagaimana optimasi formulasi susu nabati sachta inchi (*Plukenetia volubilis* L.) pada variasi konsentrasi natrium kaseinat, monodigliserida, dan stevia menggunakan metode *mixture d-optimal*.

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui formulasi optimum susu nabati sachta inchi (*Plukenetia volubilis* L.) pada variasi konsentrasi natrium kaseinat, monodigliserida, dan stevia menggunakan metode *mixture d-optimal*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan formulasi optimum susu nabati sachta inchi (*Plukenetia volubilis* L.) pada variasi konsentrasi natrium kaseinat, monodigliserida, dan stevia menggunakan metode *mixture d-optimal*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini antara lain:

1. Memberikan kontribusi ilmiah terkait optimasi formulasi susu nabati sachta inchi menggunakan metode *mixture d-optimal*.
2. Mendukung pengembangan alternatif pangan non-susu dalam upaya pemenuhan kebutuhan gizi masyarakat.

3. Menghasilkan rekomendasi formulasi susu nabati sachet inchi dengan karakteristik fisik, kimia, dan sensoris yang optimal untuk pengembangan produk pangan bernilai tambah.

1.5 Kerangka Pemikiran

Biji sachet inchi (*Plukenetia volubilis* L.) memiliki kandungan protein 22-30% dan lipid 45-50% dengan proporsi asam lemak esensial omega-3 dan omega-6 yang tinggi, sehingga berpotensi dikembangkan sebagai bahan baku susu nabati fungsional (Kodahl dan Sørensen, 2021). Namun, kandungan lipid yang tinggi menyebabkan sistem emulsi rentan mengalami ketidakstabilan berupa *creaming*, sedimentasi, dan pemisahan fase selama penyimpanan (Munekata dkk., 2020). Selain itu, karakteristik aroma dan rasa khas sachet inchi serta viskositas produk yang tidak sesuai dapat memengaruhi penerimaan konsumen (Ruiz dkk., 2025; Julian dkk., 2020 dalam Kasim dkk., 2025).

Natrium kaseinat merupakan emulsifier tipe partikel koloid yang dapat meningkatkan stabilitas emulsi melalui pembentukan lapisan antarmuka pada droplet minyak (Tangsuphoom dan Coupland, 2009 dalam Lim dan Baik, 2025). Penambahan natrium kaseinat sebesar 0,6-1,0% pada santan kelapa berpengaruh terhadap karakteristik emulsi, ukuran droplet, total mikroba, dan sifat organoleptik produk selama penyimpanan. Perlakuan tersebut menghasilkan warna dan aroma yang masih dapat diterima panelis serta mampu mempertahankan kualitas produk hingga 28 hari pada suhu 8°C (Karouw dan Santosa, 2018).

Abdullah dkk. (2021) juga melaporkan bahwa penggunaan natrium kaseinat sebesar 1-2% (b/b) sebagai emulsifier pada santan kelapa bubuk hasil *spray drying* dapat meningkatkan stabilitas emulsi dan memperbaiki sifat fisik produk. Peningkatan konsentrasi natrium kaseinat menghasilkan ukuran droplet dan partikel yang lebih kecil serta mampu mempertahankan stabilitas emulsi tanpa pemisahan fase selama 24 jam. Konsentrasi 2% (b/b) menghasilkan stabilitas emulsi yang lebih baik dibandingkan 1% (b/b), terutama selama proses atomisasi dan pengeringan. Berdasarkan hal tersebut, rentang awal konsentrasi natrium kaseinat sebesar 0,6-1,5% ditetapkan, kemudian disesuaikan dengan batas total komponen dalam rancangan *mixture* sehingga diperoleh rentang 0,9-1,5% dalam penelitian ini.

Monodigliserida digunakan sebagai emulsifier dan stabilizer pada emulsi nabati yang bekerja dengan cara menurunkan tegangan permukaan serta membentuk penghalang sterik pada droplet minyak sehingga dapat mencegah koalesensi dan memengaruhi stabilitas emulsi (Lapčíková, Valenta, dan Chvatíková, 2024). Kombinasi natrium kaseinat dan monodigliserida dilaporkan memberikan efek terhadap sifat antarmuka minyak-air serta meningkatkan kestabilan emulsi melalui penghambatan penggabungan droplet minyak (Doxastakis dan Sherman, 1984). Penelitian Loi dkk. (2019) menunjukkan bahwa penggunaan monodigliserida (MDG) sebesar 0,2% pada emulsi berbasis protein mampu meningkatkan stabilitas emulsi dengan menghasilkan ukuran droplet 15-30% lebih kecil dan indeks polidispersitas 17-27% lebih rendah dibandingkan kontrol tanpa emulsifier.

Menurut Lapčiková dkk. (2024), penggunaan monodigliserida asam lemak 0,75% serta lesitin 0,40% pada *almond cream*, *coconut cream*, *oat cream*, *oat-coconut cream*, dan *rice cream* memengaruhi sifat reologi dan kestabilan emulsi produk nabati. *Rice cream* dengan lesitin menunjukkan stabilitas emulsi sebesar $85,0 \pm 0,3\%$, sehingga emulsifier dinilai mampu meningkatkan kestabilan sistem emulsi produk nabati. Berdasarkan penelitian terdahulu, konsentrasi monodigliserida sebesar 0,2-0,8% dapat dijadikan acuan dalam penentuan rentang perlakuan pada penelitian ini.

Stevia digunakan sebagai pemanis alami non-kalori yang berfungsi meningkatkan penerimaan sensoris produk. Penggunaan stevia pada konsentrasi 0,07% (b/v) pada nektar aprikot rendah kalori menghasilkan profil sensoris yang sebanding dengan produk berbasis 10% sukrosa tanpa perbedaan signifikan pada pH, keasaman tertitrasi, dan total padatan terlarut (Reale dkk., 2019). Namun, penggunaan steviol glikosida sebesar 0,09% (b/v) pada beberapa jenis stevia menimbulkan *aftertaste* pahit dan aroma yang kurang disukai sehingga menurunkan tingkat penerimaan konsumen (Muenprasitivej dkk., 2022). Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan rentang konsentrasi stevia sebesar 0,07-0,10% (b/v) untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan stevia pada konsentrasi yang lebih rendah maupun mendekati batas timbulnya *aftertaste*.

Karakteristik akhir susu nabati *sacha inchi* tidak hanya dipengaruhi oleh masing-masing komponen secara tunggal, tetapi juga dipengaruhi oleh interaksi antar komponen dalam sistem campuran. Kombinasi natrium kaseinat dan monodigliserida dapat memengaruhi kestabilan emulsi, viskositas, dan

homogenitas produk, sedangkan stevia memengaruhi karakteristik rasa dan penerimaan sensoris. Pendekatan *trial-and-error* dinilai tidak efisien untuk sistem formulasi multi-komponen, sehingga digunakan metode *Mixture D-Optimal* yang merupakan bagian dari *Response Surface Methodology* (RSM). Metode ini mampu memodelkan pengaruh proporsi masing-masing komponen serta interaksinya terhadap respons produk dengan jumlah percobaan yang lebih minimal (Cornell, 2002).

Berdasarkan uraian tersebut, variasi konsentrasi natrium kaseinat, monodigliserida, dan stevia diduga memengaruhi stabilitas emulsi, viskositas, dan penerimaan sensoris susu nabati sachet inchi. Oleh karena itu, optimasi formulasi menggunakan metode *Mixture D-Optimal* diperlukan untuk memperoleh formulasi susu nabati sachet inchi dengan karakteristik produk yang optimal.

1.6 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan kerangka pemikiran diatas, maka diperoleh hipotesis diduga optimasi formulasi susu nabati sachet inchi dengan variasi konsentrasi natrium kaseinat, monodigliserida, dan stevia dapat ditentukan dengan menggunakan program *Design Expert* metode *Mixture D-Optimal*.

1.7 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian dimulai pada bulan Juni 2026 sampai selesai dan tempat penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Pangan Fakultas Teknik Universitas Pasundan, Kampus IV Universitas Pasundan, Jalan Dr. Setiabudi No. 193, Kota Bandung.

II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan mengenai: (2.1) Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.), (2.2) Bahan Tambahan Pangan, dan (2.3) *Design Expert* Metode *Mixture D-Optimal*.

2.1 Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.)

Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) merupakan tanaman tahunan penghasil minyak (*oilseeds*) dari famili *Euphorbiaceae* yang tumbuh di kawasan hutan hujan tropis Amazon dan banyak dibudidayakan di Peru dan Brasil bagian barat laut. Tanaman ini dikenal dengan nama “*Inca Peanut*”, “*wild peanut*”, “*Inca Inchi*” atau “*mountain peanut*”, serta telah lama dimanfaatkan oleh berbagai kelompok masyarakat adat di wilayah tersebut (Mhd Rodzi dan Lee, 2022).



Gambar 1. Kacang Sacha Inchi

(Sumber : Kodahl dan Sørensen, 2021)

Tanaman sachu inchi (*Plukenetia volubilis* L.) tidak hanya dibudidayakan di Amerika Selatan, tetapi dalam beberapa tahun terakhir juga mulai dikembangkan

di beberapa negara Asia, terutama Tiongkok, Kamboja, Thailand, dan Laos. Tanaman ini dapat tumbuh pada berbagai kondisi lingkungan dan secara tradisional dibudidayakan bersama tanaman pangan, pohon buah, maupun pohon kayu dalam sistem campuran, tumpangsari, dan agroforestri. Selain memiliki kemampuan adaptasi yang baik, *P. volubilis* juga dipandang sebagai tanaman yang menjanjikan karena kandungan nutrisi bijinya yang tinggi dan potensinya sebagai sumber pangan fungsional (Kodahl dan Sørensen, 2021). Di Indonesia, sacha inchi mulai diperkenalkan sebagai tanaman bernilai ekonomi tinggi dan berpotensi dikembangkan karena kandungan asam lemak tak jenuh, terutama omega-3, omega-6, dan omega-9 yang tinggi. Budidaya tanaman ini mulai dilakukan di beberapa daerah dan dinilai memiliki prospek yang baik untuk pengembangan produk pangan maupun kesehatan (Sumartono dkk., 2024).

Menurut Del-Castillo dkk., (2019) tanaman sacha inchi memiliki klasifikasi sebagai berikut:

Kingdom	:	<i>Plantae</i>
Divisi	:	<i>Tracheophyta</i>
Kelas	:	<i>Magnoliopsida</i>
Ordo	:	<i>Malpighiales</i>
Familia	:	<i>Euphorbiaceae</i>
Subfamili	:	<i>Acalyphoideae</i>
Genus	:	<i>Plukenetia</i>
Spesies	:	<i>Plukenetia volubilis</i> L.

Plukenetia volubilis L. merupakan tanaman liana perennial (tahunan) yang bersifat semi-kayu (*semi-woody*) dan memiliki pertumbuhan memanjat sehingga umumnya memerlukan penyangga berupa ajir atau teralis dalam budidayanya (Kodahl dan Sørensen, 2021). Tanaman ini dapat tumbuh hingga sekitar 2 meter dan mulai menghasilkan bunga serta buah sekitar delapan bulan setelah penanaman. Sacha inchi tumbuh optimal pada suhu 10-36°C, curah hujan tahunan 850-1000 mm, serta tanah berdrainase baik pada ketinggian 200-1500 meter di atas permukaan laut (Mhd Rodzi dan Lee, 2022).

Daun sachu inchi berbentuk segitiga hingga oval (*ovate*) dengan pangkal daun terpotong hingga berbentuk jantung (*truncate to cordate*) dan memiliki pertulangan menjari (*palmate venation*). Perbungaan berbentuk tandan (*racemose inflorescence*) yang terdiri atas satu hingga dua bunga betina pada bagian basal dan sejumlah bunga jantan kecil pada bagian atas (Kodahl dan Sørensen, 2021). Buah berbentuk kapsul menyerupai bintang berukuran sekitar 3-5 cm, berwarna hijau saat muda dan berubah menjadi cokelat kehitaman ketika matang. Setiap kapsul umumnya mengandung 4-6 biji berbentuk oval hingga lentikular dengan testa keras berwarna cokelat tua dan ukuran sekitar 1,5-2 cm (Mhd Rodzi dan Lee, 2022).

Biji sachu inchi dikenal memiliki nilai gizi tinggi, terutama dari kandungan lipid dan proteinnya. Biji sachu inchi mengandung lipid sekitar 45-50% dan protein sebesar 22-30%. Fraksi lipidnya didominasi oleh asam lemak tak jenuh ganda (*polyunsaturated fatty acids*, PUFA) sebesar 77,5-84,4% dari total lipid, terutama asam α -linolenat (ALA, omega-3) sebesar 35,2-50,8% dan asam linoleat (LA,

omega-6) sebesar 33,4-41,0%. Selain itu, minyak sacha inchi juga mengandung asam oleat (omega-9) sebesar 8,4-10,7%, sedangkan asam lemak jenuh berkisar 6,8-9,1% dari total lipid (Kodahl dan Sørensen, 2021). Tingginya kandungan PUFA dan rasio omega-6/omega-3 yang rendah menjadikan sacha inchi berpotensi sebagai sumber asam lemak esensial nabati yang bermanfaat bagi kesehatan, terutama dalam membantu menurunkan risiko penyakit kardiovaskular dan inflamasi kronis (Cárdenas, Rave, dan Soto, 2021).

Selain kaya lipid, biji sacha inchi juga mengandung berbagai asam amino esensial seperti leusin, tirosin, isoleusin, lisin, dan triptofan, dengan kandungan asam amino sulfur yang relatif tinggi dibandingkan tanaman biji minyak lainnya (Kodahl dan Sørensen, 2021). Biji dan minyak sacha inchi juga mengandung berbagai senyawa bioaktif seperti senyawa fenolik, tokoferol, flavonoid, karotenoid, dan fitosterol yang berkontribusi terhadap aktivitas antioksidan (Mhd Rodzi dan Lee, 2022). Kandungan tokoferol dan senyawa fenolik diketahui berperan dalam menghambat oksidasi lipid dan menangkap radikal bebas, sedangkan pengolahan termal seperti penyangraian dilaporkan dapat memengaruhi kapasitas antioksidan minyak sacha inchi (Kodahl dan Sørensen, 2021).

Kandungan bioaktif pada sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) memberikan berbagai manfaat kesehatan, terutama karena kandungan asam lemak tak jenuh ganda omega-3 dan omega-6 yang tinggi. Minyak sacha inchi mengandung asam α -linolenat (ALA) dan asam linoleat (LA) yang merupakan asam lemak esensial bagi tubuh, serta diketahui berperan dalam regulasi kolesterolemia, tekanan darah, fungsi otak, dan pengendalian respons inflamasi. Rasio omega-6/omega-3 yang

rendah pada minyak sachai inchi juga dikaitkan dengan penurunan risiko penyakit kardiovaskular, inflamasi kronis, depresi, dan penyakit autoimun (Cárdenas, Rave, dan Soto, 2021). Selain itu, konsumsi minyak sachai inchi dilaporkan mampu memperbaiki profil lipid dengan menurunkan kadar kolesterol total, LDL, dan trigliserida, serta meningkatkan kadar HDL plasma tanpa menimbulkan gangguan fungsi hati maupun ginjal (Mhd Rodzi dan Lee, 2022; Cárdenas, Rave, dan Soto, 2021).

Selain aktivitas kardioprotektif, sachai inchi juga memiliki aktivitas antioksidan, antiproliferatif, dan antitumor yang berkaitan dengan kandungan senyawa fenolik, tokoferol, flavonoid, dan karotenoid (Kodahl dan Sørensen, 2021). Ekstrak daun dan minyak sachai inchi dilaporkan mampu menghambat proliferasi beberapa sel tumor melalui induksi apoptosis serta menurunkan penanda inflamasi pada model hewan uji (Cárdenas, Rave, dan Soto, 2021). Dalam bidang pangan dan industri, biji sachai inchi yang telah dipanggang umum dikonsumsi sebagai pangan bernilai gizi tinggi, sedangkan minyaknya dimanfaatkan dalam produk pangan fungsional, suplemen, kosmetik, dan dermatologis karena kandungan nutrisi, aktivitas antioksidan, serta sifat emoliennya yang baik (Kodahl dan Sørensen, 2021; Cárdenas, Rave, dan Soto, 2021). Profil gizi dan manfaat kesehatan yang komprehensif ini menjadikan sachai inchi sebagai superfood potensial yang relevan dalam konteks tren konsumsi pangan berbasis tanaman yang terus berkembang.

2.2 Bahan Tambahan Pangan

2.2.1 Natrium Kaseinat

Natrium kaseinat (*sodium caseinate*, NaCas) merupakan turunan kasein yang diperoleh melalui reaksi antara kasein asam dengan alkali. Proses tersebut meningkatkan kelarutan kasein di dalam air dibandingkan bentuk kasein aslinya. Secara struktural, natrium kaseinat tersusun atas empat fraksi protein utama, yaitu α S1-, α S2-, β -, dan κ -kasein yang membentuk sistem koloid kompleks berupa misel kasein bersama kalsium fosfat koloid (*colloidal calcium phosphate*) (Runthala dkk., 2023). Selain memiliki nilai gizi yang baik, natrium kaseinat juga dikenal mempunyai kemampuan emulsifikasi, pembentukan busa, dan retensi air yang sangat baik (Hu dkk., 2024). Sifat-sifat tersebut menjadikan natrium kaseinat banyak dimanfaatkan sebagai bahan fungsional dalam berbagai formulasi pangan.

Sifat amfifilik natrium kaseinat menjadi dasar utama kemampuan emulsifikasinya. Molekul kasein memiliki gugus hidrofilik dan hidrofobik yang memungkinkan protein teradsorpsi pada antarmuka minyak-air serta menurunkan tegangan antarmuka selama proses emulsifikasi. Selain itu, protein kasein mampu membentuk lapisan adsorpsi di sekitar droplet minyak sehingga dapat melindungi droplet dari flokulasi dan koalesensi (Gharsallaoui dkk., 2022). Dalam sistem susu, misel kasein juga berperan penting dalam menjaga kestabilan emulsi dan mencegah presipitasi protein (Runthala dkk., 2023). Kemampuan tersebut penting pada formulasi susu nabati dengan kandungan minyak tinggi seperti susu sachet inchi yang rentan mengalami pemisahan fase selama penyimpanan.

Ditinjau dari nilai *hydrophilic-lipophilic balance* (HLB), natrium kaseinat tergolong emulsifier dengan HLB tinggi, yaitu sekitar 14, sehingga termasuk dalam kategori protein dengan rentang HLB 13,5-14 yang umum digunakan untuk menstabilkan sistem emulsi minyak dalam air (*oil in water*) (Liu dan Wei, dalam Setyaningsih dkk., 2022). Nilai HLB yang tinggi ini sejalan dengan sifat hidrofilik dominan pada struktur misel kasein, sehingga natrium kaseinat secara alami lebih mudah terdispersi dalam fase air dan efektif menyelimuti droplet minyak pada sistem emulsi dengan fase kontinu air, seperti pada susu nabati sachet inchi.

Karakteristik fungsional natrium kaseinat dipengaruhi oleh struktur protein, kondisi lingkungan, dan proses pengolahan. Stabilitas emulsi yang dihasilkan berkaitan dengan kemampuan protein membentuk lapisan pelindung di sekitar droplet minyak sehingga mencegah agregasi dan koalesensi. Selain itu, ukuran partikel yang lebih kecil dan agregasi protein yang rendah dapat meningkatkan kelarutan, aktivitas permukaan, dan stabilitas emulsi natrium kaseinat (Runthala dkk., 2023; Hu dkk., 2024).

Meskipun memiliki kemampuan emulsifikasi yang baik, kestabilan emulsi berbasis natrium kaseinat dapat menurun pada kondisi lingkungan tertentu. Emulsi natrium kaseinat diketahui kurang stabil pada pH mendekati titik isoelektrik kasein (sekitar pH 4,6), suhu tinggi, maupun kondisi dengan kekuatan ion tinggi sehingga dapat menyebabkan flokulasi dan pemisahan fase (Gharsallaoui dkk., 2022). Perlakuan panas dan kondisi alkali yang ekstrem juga dapat menyebabkan degradasi struktur protein dan peningkatan agregasi sehingga menurunkan sifat fungsional natrium kaseinat (Hu dkk., 2024). Oleh karena itu, natrium kaseinat

sering dikombinasikan dengan emulsifier atau hidrokoloid lain untuk meningkatkan kestabilan emulsi terhadap berbagai kondisi lingkungan.

Dalam industri pangan, natrium kaseinat digunakan secara luas sebagai bahan fungsional karena memiliki kemampuan emulsifikasi, pembentukan busa, peningkatan viskositas, serta kemampuan enkapsulasi yang baik (Gharsallaoui dkk., 2022; Hu dkk., 2024). Aplikasinya banyak ditemukan pada produk emulsi pangan seperti *coffee whitener*, *cream liqueur*, dan *whipping ingredients* (Gharsallaoui dkk., 2022).

2.2.2 Monodiglisierida

Monodiglisierida (*monoglycerides and diglycerides*, MDG) merupakan salah satu bahan tambahan pangan yang banyak digunakan sebagai emulsifier dalam berbagai produk pangan, terutama sistem emulsi minyak dalam air (*oil in water emulsion*). Senyawa ini tersusun atas mono- dan diglisierida asam lemak yang memiliki sifat hidrofilik dan lipofilik sehingga mampu membantu menstabilkan sistem emulsi. Monoglisierida memiliki dua gugus hidroksil bebas sehingga bersifat lebih hidrofilik, sedangkan diglisierida memiliki satu gugus hidroksil bebas dan cenderung lebih lipofilik. Perbedaan karakteristik tersebut memengaruhi kemampuan emulsifikasi monodiglisierida dalam sistem pangan (Jadhav, Waghmare, dan Annapure, 2021; Lapčíková, Valenta, dan Chvatíková, 2024).

Monodiglisierida umumnya tergolong emulsifier dengan HLB rendah hingga sedang. Monoglisierida murni memiliki nilai HLB sekitar 3,8 sehingga secara teoritis lebih sesuai digunakan untuk membentuk emulsi air dalam minyak

(*water in oil*) (Walstra, dalam Coultate, 2009), dengan kisaran nilai HLB monogliserida secara umum dilaporkan antara 2,8 hingga 3,8 yang menjadikannya tergolong sebagai emulsifier tipe *water-in-oil* (Singh & Pulikkal, 2022, dalam Reicks dkk., 2024). Pada produk monodiglisierida komersial, semakin tinggi kandungan monogliseridanya maka nilai HLB akan semakin mendekati nilai monogliserida murni, sedangkan kandungan diglisierida yang lebih dominan justru menurunkan nilai HLB campuran tersebut.

Monodiglisierida diketahui dapat meningkatkan stabilitas emulsi melalui aktivitasnya pada permukaan antarmuka minyak dan air. Peningkatan kandungan monogliserida menghasilkan stabilitas emulsi yang lebih baik karena memiliki nilai *hydrophilic-lipophilic balance* (HLB) yang lebih tinggi serta aktivitas antarmuka yang lebih baik. Penggunaan monodiglisierida juga dapat memperbaiki karakteristik fisik dan konsistensi produk emulsi pangan (Jadhav, Waghmare, dan Annapure, 2021).

Pada produk pangan nabati, monodiglisierida digunakan sebagai emulsifier dan stabilizer untuk mempertahankan kestabilan sistem emulsi. Emulsifier seperti monodiglisierida umum digunakan pada *plant-based milk alternatives* untuk meningkatkan stabilitas fisik produk dengan mencegah terjadinya koalesensi dan pemisahan fase. Penggunaan emulsifier pada susu nabati menjadi penting karena produk nabati umumnya memiliki kestabilan emulsi yang lebih rendah dibandingkan susu hewani (Lim dan Baik, 2025).

Monodigliserida asam lemak berfungsi sebagai emulsifier dan stabilizer pada emulsi nabati. Penambahan monodigliserida dapat memengaruhi sifat reologi, viskoelastisitas, dan stabilitas koloid emulsi. Emulsifier tersebut bekerja dengan menurunkan tegangan antarmuka dan membentuk penghalang sterik di sekitar droplet minyak sehingga dapat membatasi terjadinya koalesensi pada sistem emulsi pangan (Lapčíková, Valenta, dan Chvatíková, 2024).

2.2.3 Stevia

Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) merupakan tanaman pemanis alami rendah kalori yang banyak digunakan sebagai alternatif sukrosa pada produk pangan dan minuman (Sembiring, Mardiah, dan Fanani, 2024). Rasa manis stevia berasal dari senyawa glikosida steviol, terutama steviosida dan rebaudiosida A, dengan tingkat kemanisan sekitar 200-300 kali lebih tinggi dibandingkan sukrosa (Kasti dkk., 2022).

Senyawa utama penyusun stevia adalah glikosida diterpen kompleks seperti steviosida, rebaudiosida A, rebaudiosida C, steviolbiosida, dan dulkosida A yang berperan terhadap karakteristik rasa manis stevia. Senyawa steviosida bersifat polar sehingga dapat diekstraksi menggunakan pelarut air maupun etanol. Stevia juga memiliki stabilitas yang baik terhadap panas hingga suhu sekitar 200°C, tahan terhadap kondisi asam, serta tidak mudah mengalami fermentasi sehingga sesuai diaplikasikan pada berbagai produk pangan dan minuman (Sembiring, Mardiah, dan Fanani, 2024).

Mutu ekstrak stevia dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti metode pengeringan, jenis pelarut, suhu ekstraksi, lama ekstraksi, ukuran partikel bahan, serta rasio bahan terhadap pelarut. Proses pengeringan pada suhu tinggi dapat menurunkan kandungan senyawa bioaktif, termasuk steviosida, sehingga memengaruhi kualitas ekstrak stevia yang dihasilkan. Selain itu, pengeringan yang terlalu lama juga dapat menurunkan kadar steviosida pada daun stevia. Lama ekstraksi yang semakin tinggi dapat meningkatkan jumlah steviosida yang terekstrak, namun juga meningkatkan ekstraksi tanin yang menyebabkan warna ekstrak menjadi lebih gelap dan menimbulkan rasa langu, sepat, serta sedikit pahit (Sembiring, Mardiah, dan Fanani, 2024).

Stevia dikenal aman digunakan sebagai bahan tambahan pangan pemanis. *European Food Safety Authority* (EFSA) menyatakan bahwa glikosida steviol aman digunakan sebagai *food additive* dan tidak bersifat karsinogenik (EFSA Panel, 2010 dalam Sembiring, Mardiah, dan Fanani, 2024). *Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives* (JECFA) menetapkan batas konsumsi harian yang dapat diterima (*acceptable daily intake/ADI*) sebesar 4 mg/kg berat badan per hari dalam bentuk ekuivalen steviol (Kasti dkk., 2022). Di Indonesia, glikosida steviol telah dikategorikan sebagai Bahan Tambahan Pangan (BTP) pemanis oleh BPOM RI (Sembiring, Mardiah, dan Fanani, 2024).

Selain berfungsi sebagai pemanis rendah kalori, stevia juga dilaporkan memiliki berbagai manfaat kesehatan. Ekstrak stevia diketahui memiliki aktivitas antihiperglikemik, antara lain melalui peningkatan sekresi insulin dan penurunan kadar glukosa plasma serta aktivitas antiinflamasi, antihipertensi, antioksidan, dan

berpotensi membantu menurunkan kadar kolesterol dan trigliserida (Sembiring, Mardiah, dan Fanani, 2024; Kasti dkk., 2022). Oleh karena itu, stevia banyak digunakan sebagai alternatif pemanis bagi penderita diabetes maupun konsumen yang membutuhkan produk rendah gula.

2.2.4 Garam

Garam dapur atau natrium klorida (NaCl) merupakan senyawa kimia dengan unsur utama natrium (40%) dan klorin (60%) yang membentuk kristal menjadi natrium klorida. Garam berbentuk kristal berwarna putih dan memiliki sifat mudah menyerap air. Garam juga merupakan salah satu komoditas penting dalam dunia industri pangan dan elektrolit bagi tubuh manusia (Salsabila dkk., 2023; Ariyanto dan Kartika, 2022). Dalam produk pangan, garam berfungsi untuk memberikan citarasa, melarutkan protein, dan meningkatkan umur simpan produk (Deviartha, Antarini, dan Tamam, 2023). Pada produk minuman berbasis nabati seperti susu sachet inchi, penambahan garam dalam jumlah kecil dapat membantu memperkuat cita rasa serta menyeimbangkan rasa pahit atau langu dari bahan baku nabati. Garam konsumsi beriodium yang baik harus memenuhi persyaratan mutu sesuai SNI 3556:2024, yaitu memiliki kadar air maksimal 7% dan kadar NaCl minimal 94%. Selain itu, garam konsumsi perlu difortifikasi dengan kalium iodat (KIO_3) sebesar 30–80 ppm untuk membantu mencegah gangguan akibat kekurangan iodium (Salsabila dkk., 2023).

2.3 *Design Expert Metode Mixture D-Optimal.*

Design Expert merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk membantu proses optimasi formulasi dan design eksperimental pada berbagai

penelitian. Penggunaan *Design Expert* dapat membantu mengurangi waktu dan biaya pengembangan formulasi karena mampu menganalisis hubungan antarvariabel serta memprediksi formula optimum berdasarkan data hasil percobaan (Hidayat, Zuhrotun, dan Sopyan, 2021).

Metode *mixture* digunakan untuk komponen formulasi yang berubah secara proporsional satu sama lain sehingga total seluruh komponen harus tetap. Nilai faktor pada *mixture design* memiliki proporsi antara 0 dan 1, serta metode ini dapat digunakan meskipun terdapat komponen dalam jumlah kecil karena respon yang dihasilkan sangat sensitif terhadap perubahan bahan (Hidayat, Zuhrotun, dan Sopyan, 2021).

Penentuan formula optimum pada metode *mixture* dilakukan dengan menentukan batas minimal dan batas maksimal setiap faktor sehingga membentuk daerah uji. Berdasarkan daerah uji tersebut, perangkat lunak akan menentukan titik percobaan dan menghasilkan *contour plot* untuk mempermudah penentuan titik optimum dengan presisi yang tinggi (Hidayat, Zuhrotun, dan Sopyan, 2021).

Pemodelan data pada *mixture design* dilakukan menggunakan model matematika *linear*, *quadratic*, *cubic*, dan *special cubic*. Pemilihan model dilakukan berdasarkan signifikansi model, signifikansi *lack of fit*, *adjusted R-square*, dan *predicted R-square* pada analisis ANOVA. Formula optimum ditentukan berdasarkan nilai *desirability*, dimana nilai *desirability* yang mendekati 1 menunjukkan formula optimum terbaik. Metode *mixture design* juga memiliki keunggulan karena jumlah *run* percobaan lebih sedikit dibandingkan *factorial*

maupun *response surface methodology* sehingga lebih efisien dalam penggunaan waktu dan bahan penelitian (Hidayat, Zuhrotun, dan Sopyan, 2021).

III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan mengenai: (3.1) Bahan dan Alat, (3.2) Metode Penelitian, (3.3) Prosedur Penelitian, dan (3.4) Jadwal Penelitian.

3.1 Bahan dan Alat

3.1.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam proses pembuatan susu nabati sachet inchi yaitu biji sachet inchi yang didapat dari PT. Sumber Rizki Rahardja Desa Cibokor Kabupaten Cianjur, air (LeMinerale) yang diperoleh dari Supermarket Griya Setia Budhi, stevia (Organa) yang diperoleh dari toko online shopee, natrium kaseinat (Marvellous Chemical) yang diperoleh dari toko online shopee, monodiglisericida *food grade* (Bersih2GudangBDG) yang diperoleh dari toko online shopee, garam (Cap Ekspedisi) yang diperoleh dari Supermarket Griya Setia Budhi, dan asam sitrat *food grade* (Cap Gajah) yang diperoleh dari toko online shopee.

Bahan yang digunakan untuk analisis respon fisik, kimia, dan organoleptik yaitu sampel susu nabati sachet inchi, aquadest, kalium oksalat, larutan formaldehida (formol), larutan natrium hidroksida (NaOH), indikator Fenolftalein (PP), n-hexan, dan kertas saring.

3.1.2 Alat

Alat yang digunakan dalam proses pembuatan susu nabati sachet inchi yaitu neraca digital OHAUS™ PX224 (Indonesia) dan digipounds MS-K07 (Indonesia), baskom miyako™ (Indonesia), blender miyako™ (Indonesia), kain saring, kompor

gas quantum™ (Indonesia), termometer GEA™ S-006 (Indonesia), panci maspion™ (Indonesia), pengaduk, wadah botol, dan kulkas.

Alat yang digunakan untuk analisis fisik, kimia, dan organoleptik adalah viskometer brookfield, gelas kimia pyrex™ (Indonesia), sentrifus PLC05 (Indonesia), tabung sentrifus, gelas ukur pyrex™ (Indonesia), termometer GEA™ S-006 (Indonesia), pipet seukuran pyrex™ (Indonesia), pipet berukuran pyrex™ (Indonesia), *ball filler*, pipet tetes, batang pengaduk, corong, labu takar pyrex™ (Indonesia), Erlenmeyer pyrex™ (Indonesia), buret pyrex™ (Indonesia), klem dan statif, neraca digital OHAUS™ PX224 (Indonesia), cawan porselen RRT™ (Indonesia), tang krus ROFA™ (Indonesia), desikator, oven pengering memmert UN series™ (Indonesia), kawat kasa, kompor gas quantum™ (Indonesia), tanur thermo scientific™ (Indonesia), labu didih pyrex™ (Indonesia), ekstraktor Soxhlet, dan alat refluks.

3.2 Metode Penelitian

3.2.1 Rancangan Penelitian

Penentuan formulasi optimum terdiri dari empat tahap, yaitu tahap perencanaan formulasi, tahap formulasi, tahap analisis, dan tahap optimasi. Perencanaan formulasi diawali dengan variabel berubah yang akan dikombinasikan beserta konsentrasinya, lalu menentukan respon yang akan dianalisis. Langkah pertama yang harus dilakukan adalah menentukan variabel-variabel yang akan dikombinasikan beserta konsentrasinya, kemudian menetapkan respon yang akan diatur sebagai fungsi dari komponen-komponen penyusun produk.

3.2.2 Rancangan Analisis

Persamaan pada program *D-Optimal* didapatkan dari tiga proses berdasarkan *sequential model sum of squares* [Type I] untuk model yang memiliki nilai “Prob < F” lebih kecil atau sama dengan 0,05 (*significant*), *lack of fit test* untuk model yang mempunyai nilai “Prob > F” lebih besar atau sama dengan 0,05 (*not significant*), dan model *summary statistic*. Model terbaik dapat ditentukan dengan parameter *adjust R-Squared* dan *Predicted R-Squared* maksimum. Program *Design Expert* menggunakan kolom *summary* untuk memilih model terbaik.

Formula paling optimal adalah formula dengan nilai *desirability* maksimum. Nilai *desirability* merupakan nilai fungsi tujuan optimasi yang menunjukkan kemampuan program untuk memenuhi keinginan berdasarkan kemampuan kriteria yang ditetapkan pada produk akhir. Kisaran nilainya dari 0 sampai 1. Nilai *desirability* yang semakin mendekati nilai 1 menunjukkan kemampuan program untuk menghasilkan produk yang dikehendaki semakin sempurna.

Kesesuaian antara hasil aktual dengan hasil yang diprediksikan pada program *Design Expert* dapat dilihat melalui grafik plot kenormalan *Internally Studentized Residual*. Plot kenormalan *Internally Studentized Residual* adalah besarnya standar deviasi yang memisahkan nilai respon aktual dengan yang diprediksikan. Plot kenormalan mengindikasikan residual (perbedaan antara nilai respon aktual yang diprediksikan) mengikuti garis kenormalan (garis lurus). Semakin mendekati suatu titik-titik (data) dengan garis kenormalan maka akan

semakin baik, karena titik-titik (data) tersebut menyebar normal, yang berarti hasil aktual akan mendekati hasil yang diprediksikan program *Design Expert*.

Selain program plot kenormalan, program *Design Expert* juga dapat menyelesaikan persamaan polinomial dimana persamaan tersebut dapat ditampilkan dalam suatu *contour* plot yang berupa gambar dua dimensi (2-D) maupun grafik tiga dimensi (3-D) sehingga dapat menggambarkan bagaimana kombinasi antar komponen saling mempengaruhi nilai respon.

3.2.3 Rancangan Respon

Rancangan respon yang akan dilakukan pada penelitian ini meliputi:

1. Respon Fisik

Respon fisik terhadap produk susu nabati sachet inchi yaitu uji stabilitas emulsi dan viskositas.

2. Respon Kimia

Analisis respon kimia terhadap produk susu nabati sachet inchi yaitu uji protein metode Formol, uji lemak metode Soxhlet, dan uji karbohidrat metode *by different*.

3. Respon Organoleptik

Respon organoleptik yang dilakukan terhadap susu nabati sachet inchi meliputi warna, rasa, aroma, dan *aftertaste* dengan menggunakan uji hedonik. Tujuan uji ini untuk menentukan tingkat kesukaan panelis terhadap sifat organoleptik produk susu nabati sachet inchi. Uji hedonik dilakukan oleh 30 panelis

dengan memberikan penilaian terhadap produk susu nabati sachet inchi. Kriteria skala hedonik dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. Kriteria Skala Hedonik

Skala Hedonik	Skala Penilaian
Sangat suka	6
Suka	5
Agak suka	4
Agak tidak suka	3
Tidak suka	2
Sangat tidak suka	1

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Tahapan I: Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk menentukan formulasi dari pembuatan susu nabati sachet inchi, khususnya dalam menetapkan konsentrasi penambahan natrium kaseinat, monodigliserida, dan stevia. Hasil penelitian pendahuluan ini selanjutnya dijadikan acuan dalam menentukan batas atas dan batas bawah pada tahap optimasi formulasi. Formulasi susu nabati sachet inchi menggunakan perangkat lunak *Design Expert* versi 13 dengan rancangan *Mixture D-Optimal*.

Tabel 2. Variabel Tetap dalam Pembuatan Susu Nabati Sachet Inchi

No	Nama Bahan	Jumlah (%)
1.	Sari Sachet Inchi	98
2.	Garam	0,2
Variabel Tetap		98,2
Variabel Berubah		1,8
Total		100

Pada formulasi terbagi menjadi dua variabel, yaitu variabel tetap dan variabel berubah. Variabel berubah meliputi natrium kaseinat, monodigliserida, dan stevia, sedangkan variabel tetap meliputi sari sachinchi dan garam.

Penentuan batas bawah dan batas atas terhadap variabel berubah berdasarkan penelitian terdahulu dan melakukan *trial*, yaitu dengan mencoba perbandingan konsentrasi natrium kaseinat, monodigliserida, dan stevia hingga diperoleh formulasi yang sesuai.

Tabel 3. Batas atas dan Batas bawah Variabel Berubah

Komponen	Batas Bawah (%)	Batas Atas (%)
Natrium Kaseinat	0,9	1,5
Monodigliserida	0,2	0,8
Stevia	0,07	0,1

3.3.2 Tahapan II: Penelitian Utama

Penelitian utama merupakan penelitian lanjutan dari penelitian pendahuluan. Penelitian utama bertujuan untuk menentukan formulasi bahan yang optimal pada pembuatan susu nabati sachinchi. Penentuan formulasi dilakukan dengan menggunakan program *Design Expert 13.0* metode *Mixture D-Optimal* dengan menentukan batas minimum dan maksimum untuk variabel berubah serta dilakukan penentuan *runs*.

Prosedur penelitian pada tahap ini menggunakan *Design Expert* metode *D-Optimal* yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Bahan baku yang ditambahkan merupakan variabel berubah pada *mixture component* yaitu natrium kaseinat, monodigliserida, dan stevia dengan jumlah

total variabel berubah 1,8% dari bahan keseluruhan yang dilihat dari sisa variabel tetap.

- b. Masukkan batas atas serta batas bawah untuk penggunaan bahan baku (variabel berubah) berupa natrium kaseinat, monodigliserida, dan stevia pada kolom *low* dan *high*.

Optimal (Custom) Design

A flexible design structure to accommodate custom models, categoric factors, and irregular (constrained) regions. Runs are determined by a selection criterion chosen during the build.

Mixture components: 3 (2 to 24) Total: 1.8 Units: % ☒ Horizontal ☐ Vertical

	Name	Low	High
A [Mixture]	Natrium Kaseinat	0.9	1.5
B [Mixture]	Monodigliserida	0.2	0.8
C [Mixture]	Stevia	0.07	0.1

Edit constraints...

Gambar 2. Batas Maksimum dan Minimum Natrium Kaseinat, Monodigliserida, dan Stevia

Optimal (Custom) Design

Search: Both Exchanges Optimality: D

Edit model... Quadratic
Scheffe

Blocks: 1 (1 to 1000)

Runs

Required model points: 6
Additional model points: 0
Lack-of-fit points: 5
Replicate points: 3
Additional center points: 0
Total runs: 14

Both Exchanges will try both Point Exchange and Coordinate Exchange searches of the design space. This could result in some unusual combinations of factors. If you require certain candidates or combinations of factors, switch to Point Exchange.

D-optimality produces a design that best estimates the effects of the factors, which is particularly suited for screening studies. The algorithm picks points that minimize the volume of the confidence ellipsoid for the coefficients (i.e. it minimizes the determinant of the $X'X$ inverse matrix).

Edit candidate points... Options...

Gambar 3. Laporan *Input Data (Runs)*

- c. Masukkan jumlah respon yang akan dianalisis dalam suatu unit yang dibutuhkan

Optimal (Custom) Design

Responses: (1 to 999) ☒ Horizontal ☐ Vertical

Name	Units
Stabilitas Emulsi	%
Viskositas	cP
Protein	%
Lemak	%
Karbohidrat	%
Warna	numerik
Aroma	numerik
Rasa	numerik
Aftertaste	numerik

Gambar 4. Satuan Analisis Respon

- d. Berdasarkan data di atas, dihasilkan sebanyak 14 formulasi dengan 3 variabel berubah yaitu natrium kaseinat, monodigliserida, dan stevia.

Run	Component 1 A: Natrium Ka... %	Component 2 B: Monodiglis... %	Component 3 C: Stevia %	Response 1 Stabilitas Em... %	Response 2 Viskositas cP	Response 3 Protein %	Response 4 Lemak %	Response 5 Karbohidrat %	Response 6 Warna numerik	Response 7 Aroma numerik	Response 8 Rasa numerik	Response 9 Aftertaste numerik
1	1.5	0.23	0.07									
2	1.2075	0.5075	0.085									
3	1.5	0.215	0.085									
4	0.9	0.8	0.1									
5	1.06875	0.65375	0.0775									
6	0.93	0.8	0.07									
7	1.5	0.2	0.1									
8	1.35375	0.35375	0.0925									
9	0.98	0.8	0.07									
10	1.5	0.23	0.07									
11	0.9	0.8	0.1									
12	1.05375	0.65375	0.0925									
13	0.915	0.8	0.085									
14	1.2	0.5	0.1									

Gambar 5. Hasil Formulasi (Runs)

- e. Pembuatan produk berdasarkan formulasi yang dihasilkan sesuai prosedur. Kemudian dilakukan proses analisis produk, berdasarkan analisis fisik, kimia, dan organoleptik kemudian data hasil analisis dimasukkan pada *Design Expert*.

3.3.3 Tahapan III: Analisis Data dan Optimasi

Setelah dilakukan pengujian, tahap selanjutnya adalah analisis data dan proses optimasi formulasi menggunakan perangkat lunak *Design Expert*. Data respon yang diperoleh dianalisis secara statistik untuk mengetahui pengaruh proporsi masing-masing komponen campuran terhadap karakteristik produk. Analisis ini bertujuan untuk membangun model matematis yang mampu merepresentasikan hubungan antara variabel formulasi dan respon yang diamati secara kuantitatif. Tingkat *importance* dari susu nabati sachet inchi dengan variasi konsentrasi natrium kaseinat, monodigliserida, dan stevia untuk setiap respon tertera pada tabel berikut.

Tabel 4. Peringkat Nilai Kepentingan

No	Tingkat Kepentingan	Tanda
1.	Tidak Penting	+
2.	Bisa	++
3.	Cukup Penting	+++
4.	Penting	++++
5.	Sangat Penting	+++++

Tabel 5. Tingkat *Importance* Setiap Respon

Komponen	<i>Importance</i>	Fungsi Tujuan
Stabilitas emulsi	+++	<i>Maximize</i>
Viskositas	+++	<i>In Range</i>
Protein	+++++	<i>Maximize</i>
Lemak	+++++	<i>Maximize</i>
Karbohidrat	+++	<i>Maximize</i>
Warna	+++	<i>In Range</i>
Aroma	+++++	<i>Maximize</i>
Rasa	+++++	<i>Maximize</i>
<i>Aftertaste</i>	+++	<i>In Range</i>

Parameter stabilitas emulsi ditetapkan *maximize* karena merupakan parameter utama yang menentukan kualitas fisik dan umur simpan susu nabati sachet sachet. Natrium kaseinat dan monodigliserida berperan sebagai emulsifier yang mampu membentuk lapisan pelindung pada antarmuka minyak-air sehingga mencegah koalesensi dan pemisahan fase. Nilai stabilitas emulsi yang mendekati 100% menunjukkan bahwa emulsi tetap homogen dan hanya mengalami sedikit pemisahan fase selama pengujian, sedangkan nilai yang rendah menunjukkan emulsi kurang stabil akibat terjadinya flokulasi, koalesensi, maupun *creaming*. Oleh karena itu, target stabilitas emulsi diarahkan mendekati 100% untuk menghasilkan susu nabati sachet sachet yang stabil selama penyimpanan (Lim dan Baik, 2025; Lapčiková, Valenta, dan Chvatíková, 2024).

Parameter viskositas ditetapkan *in range* karena viskositas memengaruhi tekstur, kestabilan, dan penerimaan konsumen terhadap susu nabati. Viskositas yang terlalu rendah menyebabkan produk terasa encer dan mudah mengalami pemisahan fase, sedangkan viskositas yang terlalu tinggi menghasilkan tekstur terlalu kental dan kurang nyaman dikonsumsi. Oleh karena itu, rentang viskositas ditetapkan sekitar 2-20 cP agar produk tetap mudah diminum dengan konsistensi menyerupai susu pada umumnya serta memiliki kestabilan emulsi yang baik (Silva dkk., 2016).

Parameter protein ditetapkan *maximize* karena kandungan protein merupakan salah satu nilai gizi utama pada susu nabati sachet sachet. Biji sachet sachet memiliki kandungan protein yang cukup tinggi (22-30%), sehingga optimasi

formulasi diharapkan mampu mempertahankan atau meningkatkan kadar protein produk akhir, mengingat penambahan natrium kaseinat sebagai emulsifier berbasis protein juga turut menyumbang kandungan protein pada produk (Kodahl dan Sørensen, 2021).

Parameter lemak ditetapkan *maximize* karena biji sacha inchi memiliki kandungan lemak yang tinggi sehingga dapat berkontribusi terhadap nilai gizi susu nabati yang dihasilkan. Kandungan lemak juga berperan dalam memberikan karakteristik *creamy* dan tekstur pada produk. Namun, peningkatan kadar lemak perlu diimbangi dengan kestabilan sistem emulsi karena kandungan lemak yang tinggi dapat meningkatkan kecenderungan terjadinya pemisahan fase selama penyimpanan. Oleh karena itu, kadar lemak diarahkan pada nilai maksimum dengan tetap mempertimbangkan peran natrium kaseinat dan monodigliserida dalam mempertahankan kestabilan emulsi produk (Goyal dkk., 2022; Munekata dkk., 2020).

Parameter karbohidrat ditetapkan *maximize* karena kandungan karbohidrat merupakan salah satu komponen yang berkontribusi terhadap nilai energi produk. Kadar karbohidrat pada susu nabati sacha inchi terutama berasal dari kandungan alami bahan baku, sedangkan stevia sebagai pemanis nonkalori tidak menjadi sumber utama karbohidrat dalam produk. Oleh karena itu, kadar karbohidrat diarahkan pada nilai maksimum untuk mendukung karakteristik gizi susu nabati sacha inchi (Kasim dkk., 2025).

Parameter warna ditetapkan *in range* karena warna merupakan atribut sensori yang memengaruhi daya tarik dan penerimaan konsumen. Warna putih krem yang cerah menunjukkan emulsi yang homogen dan kualitas produk yang baik. Optimasi formulasi diharapkan menghasilkan warna yang lebih seragam dan menarik secara visual (Kasim dkk., 2025).

Parameter aroma ditetapkan *maximize* karena aroma sangat memengaruhi penerimaan sensoris dan minat konsumsi produk. Aroma khas sachai inchi dipengaruhi oleh kandungan asam lemak tak jenuh yang mudah mengalami oksidasi. Penggunaan emulsifier diharapkan dapat membantu menekan aroma langu maupun tengik sehingga menghasilkan aroma yang lebih disukai konsumen (Kasim dkk., 2025).

Parameter rasa ditetapkan *maximize* karena rasa merupakan faktor utama yang menentukan tingkat kesukaan konsumen terhadap produk. Penggunaan stevia sebagai pemanis alami diharapkan menghasilkan rasa manis yang diterima konsumen tanpa penambahan gula berlebih. Optimasi natrium kaseinat dan monodigliserida juga diharapkan mampu mengurangi *off-flavor* dari biji sachai inchi sehingga menghasilkan cita rasa yang lebih baik (Kasim dkk., 2025).

Parameter *aftertaste* ditetapkan *in range* karena kesan rasa yang tertinggal setelah konsumsi memengaruhi penerimaan keseluruhan produk, terutama pada penggunaan stevia. Optimasi konsentrasi stevia, natrium kaseinat, dan monodigliserida diperlukan agar *aftertaste* yang dihasilkan lebih bersih dan menyenangkan sehingga meningkatkan kesukaan konsumen (Kasim dkk., 2025).

Proses optimasi dilakukan menggunakan pendekatan fungsi *desirability*, di mana setiap respon ditransformasikan ke dalam nilai *desirability* dengan rentang 0 hingga 1 sesuai dengan kriteria yang diinginkan. Nilai *desirability* total digunakan untuk menentukan kombinasi formulasi optimum yang mampu memberikan keseimbangan terbaik antara kandungan senyawa fungsional dan penerimaan sensoris. Formulasi dengan nilai *desirability* tertinggi dipilih sebagai kondisi optimum karena dianggap paling mendekati tujuan penelitian secara keseluruhan.

3.3.4 Tahap IV: Verifikasi

Tahap akhir penelitian adalah tahap verifikasi, yang bertujuan untuk membuktikan keakuratan model dan formula optimum hasil prediksi program *Design Expert*. Verifikasi dilakukan dengan membandingkan nilai respon hasil prediksi program dengan nilai respon aktual hasil percobaan.

Tahapan verifikasi dilakukan sebagai berikut:

- a. Formula optimum dengan nilai *desirability* tertinggi dipilih sebagai formula terbaik hasil optimasi.
- b. Formula optimum dibuat kembali sesuai prosedur pembuatan susu nabati sachet inchi.
- c. Produk hasil verifikasi dianalisis kembali terhadap seluruh respon penelitian, meliputi stabilitas emulsi, viskositas, protein, lemak, karbohidrat, warna, aroma, rasa, dan *aftertaste*.
- d. Nilai respon aktual hasil verifikasi dibandingkan dengan nilai respon prediksi yang dihasilkan oleh program *Design Expert*.

- e. Kesesuaian antara nilai aktual dan nilai prediksi dievaluasi menggunakan *confidence interval* (CI) dan *prediction interval* (PI) dari *program Design Expert*. Model dinyatakan valid apabila nilai respon aktual berada dalam rentang *prediction interval* yang ditetapkan.
- f. Apabila hasil verifikasi menunjukkan bahwa nilai aktual mendekati nilai prediksi dan tidak berbeda nyata, maka formula optimum yang diperoleh dinyatakan valid dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

3.3.5 Prosedur Pembuatan Susu Nabati Sacha Inchi

3.3.5.1 Pembuatan Sari Sacha Inchi

1. Pencucian

Kacang sachu inchi dicuci menggunakan air mengalir untuk menghilangkan kotoran yang menempel.

2. Perendaman

Kacang sachu inchi direndam dalam larutan asam sitrat dengan konsentrasi 2% selama 6-8 jam untuk mengurangi bau langu.

3. Penirisan I

Penirisan dilakukan untuk menghilangkan sisa larutan asam sitrat dari perendaman yang masih menempel pada kacang sachu inchi.

4. Perebusan

Kacang sachu inchi direbus pada suhu 90-100°C selama 10-15 menit untuk menginaktivasi enzim, mengurangi bau langu, dan menurunkan jumlah mikroorganisme.

5. Penirisan II

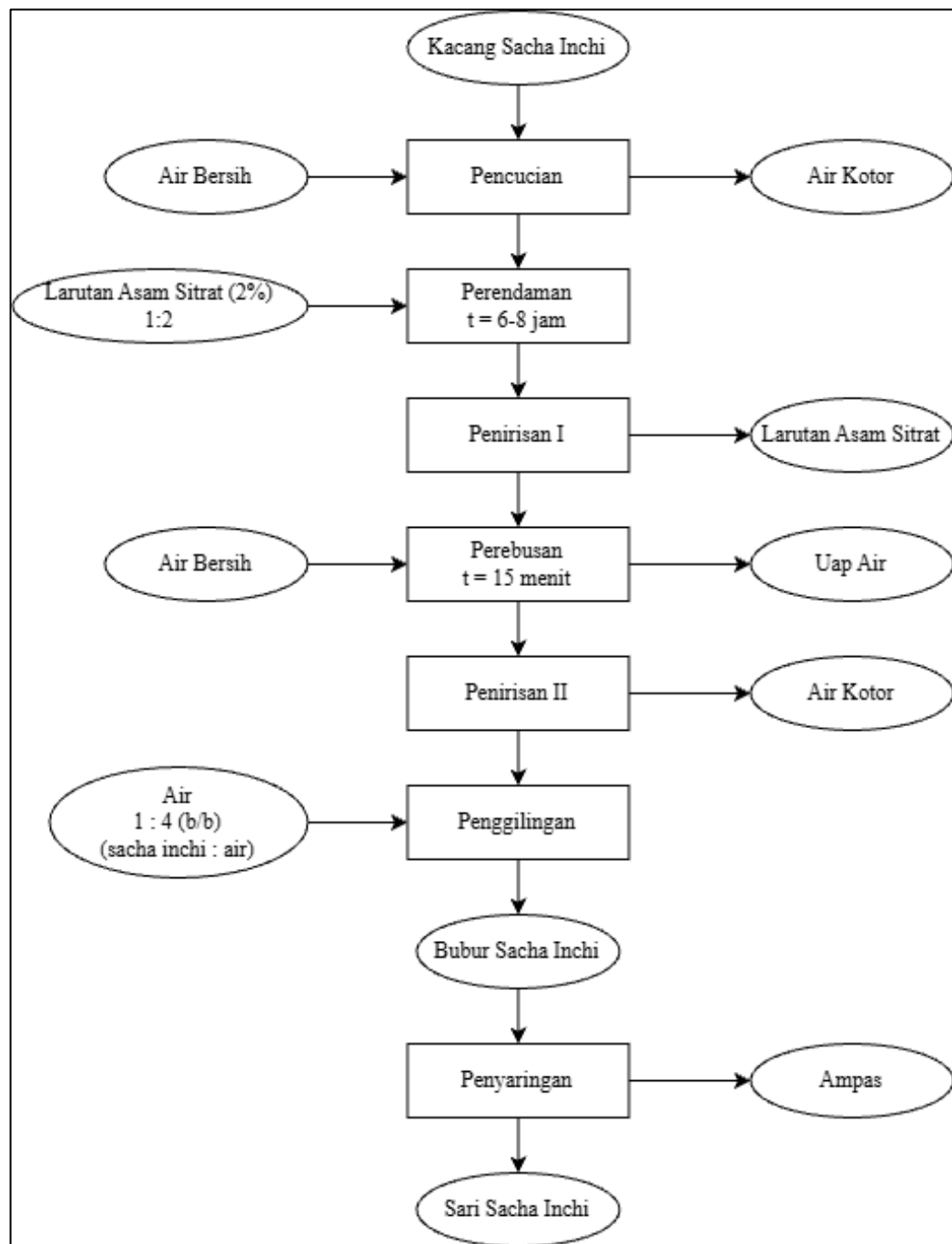
Penirisan dilakukan untuk memisahkan air rebusan dan kacang sachai inchi.

6. Penggilingan

Kacang sachai inchi yang telah direbus kemudian digiling menggunakan blender dengan penambahan air (1:4) hingga diperoleh bubur yang halus dan homogen.

7. Penyaringan

Bubur kacang sachai inchi disaring menggunakan kain saring untuk memisahkan ampas dan filtrat, sehingga diperoleh sari sachai inchi.



Gambar 6. Diagram Alir Pembuatan Sari Sacha Inchi
(Sumber: Salimi dkk., 2025 : Dengan Modifikasi)

3.3.5.2 Pembuatan Susu Nabati Sacha Inchi

1. Pencampuran I

Sari sachinchi dicampurkan dengan natrium kaseinat (%) dan monodigliserida (%) sesuai formulasi pada *Design Expert* sampai homogen.

2. Pencampuran II

Stevia (%) sesuai dengan formulasi pada *Design Expert* 13 dan garam 0,2% ditambahkan ke dalam campuran hingga homogen.

3. Pasteurisasi

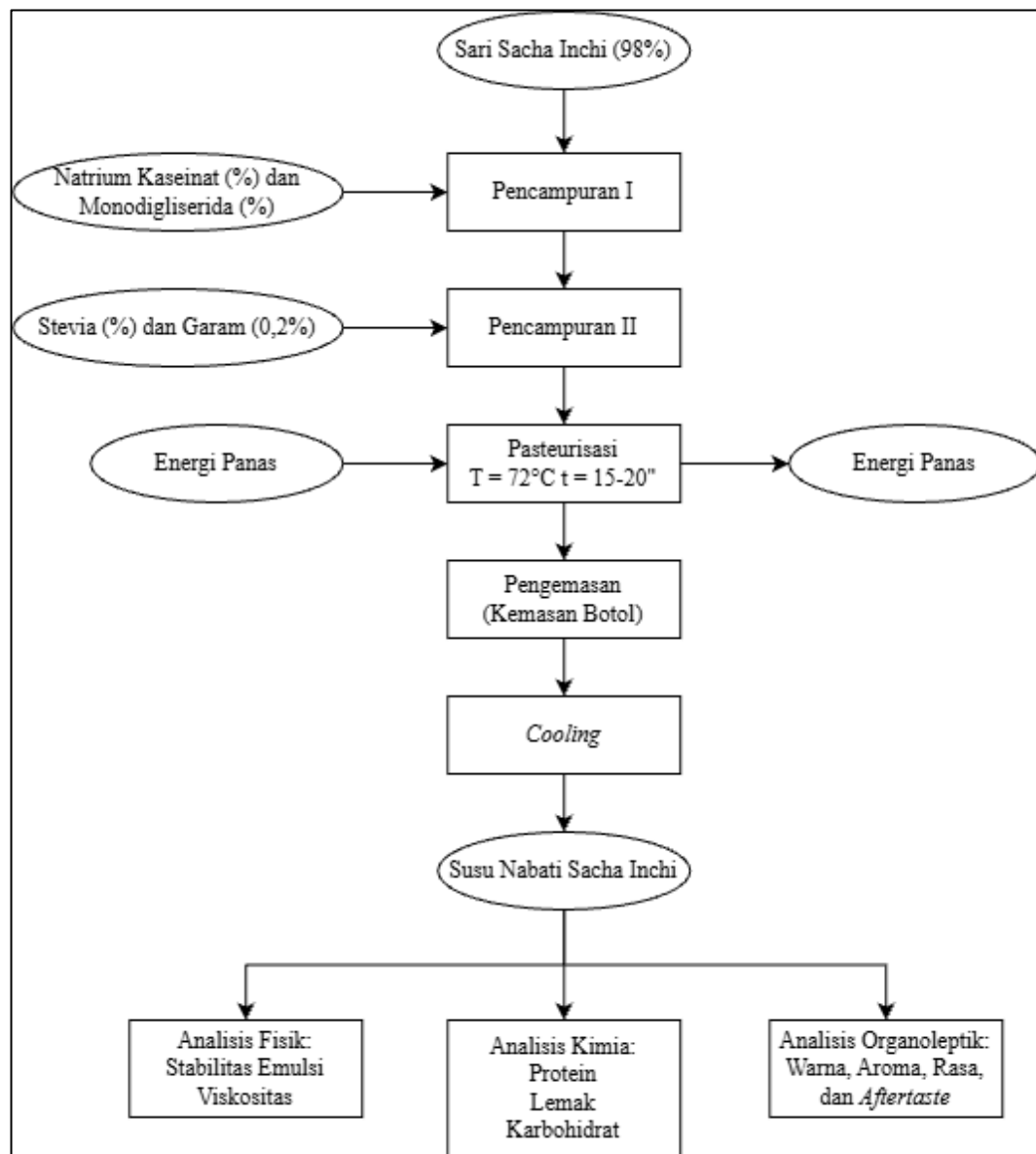
Campuran susu nabati dipasteurisasi dengan suhu 72°C selama 15 sampai 20 detik untuk mengurangi jumlah mikroorganisme serta memperpanjang umur simpan produk tanpa merusak kualitas gizi secara signifikan.

4. Pengemasan

Susu nabati sachinchi dikemas dalam wadah steril untuk menjaga mutu dan keamanan produk.

5. *Cooling*

Produk didinginkan hingga mencapai suhu ruang atau suhu penyimpanan untuk menjaga kestabilan dan kualitas produk setelah pasteurisasi.



Gambar 7. Diagram Alir Pembuatan Susu Nabati Sacha Inchi

(Sumber: Salimi dkk., 2025 : Dengan Modifikasi)

3.4 Jadwal Penelitian

Tabel 6. Jadwal Pelaksanaan Penelitian

Kegiatan	Bulan								
	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober
Penyusunan Proposal dan Bimbingan									
Pengajuan Proposal Penelitian									
Seminar Usulan Penelitian									
Pelaksanaan Penelitian									
Pengolahan Data dan Penyusunan Tugas Akhir									
Sidang Tugas Akhir									
Revisi Pasca Sidang									

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan mengenai: (4.1) Hasil Penelitian Pendahuluan, (4.2) Hasil Penelitian Utama, (4.3) Penentuan Formulasi Optimal, dan (4.4) Verifikasi Formulasi Optimal.

4.1 Hasil Penelitian Pendahuluan

Hasil penelitian pendahuluan menunjukkan bahwa penggunaan natrium kaseinat pada kadar terlalu rendah menyebabkan kestabilan emulsi susu nabati sachet kurang baik, sedangkan kadar yang terlalu tinggi dapat meningkatkan viskositas dan memengaruhi karakteristik rasa produk. Berdasarkan pengamatan tersebut, kisaran penggunaan natrium kaseinat 0,9-1,5% dipilih karena mampu menghasilkan karakteristik susu nabati sachet yang relatif stabil dan sesuai. Sementara itu, monodigliserida pada kadar di bawah 0,2% belum mampu memberikan kestabilan emulsi yang optimal, sedangkan penggunaan di atas 0,8% dapat menghasilkan produk yang terlalu kental, sehingga rentang 0,2-0,8% dinilai paling sesuai.

Penggunaan stevia juga menunjukkan pengaruh terhadap karakteristik produk. Stevia pada kadar di bawah 0,07% belum mampu memberikan tingkat kemanisan yang sesuai, sedangkan penggunaan di atas 0,10% dapat menimbulkan rasa manis yang terlalu kuat dan *aftertaste* yang kurang disukai. Oleh karena itu, kisaran 0,07-0,10% dipilih sebagai batas penggunaan stevia. Secara keseluruhan, hasil penelitian pendahuluan ini menjadi dasar dalam penetapan batas atas dan batas bawah formulasi yang digunakan pada tahap optimasi.

Tabel 7. Batas Bawah dan Batas Atas Susu Nabati Sacha Inchi

No	Nama Bahan	Batas Bawah (%)	Batas Atas (%)
1.	Natrium Kaseinat	0,90	1,50
2.	Monodigliserida	0,20	0,80
3.	Stevia	0,07	0,10

4.2 Hasil Penelitian Utama

Pada penelitian digunakan rancangan dengan model D-Optimal. Rancangan ini digunakan untuk melihat pengaruh kombinasi komponen dan menentukan formulasi optimal susu nabati sachu inchi dengan kombinasi variabel diantaranya natrium kaseinat, monodigliserida, dan stevia, kemudian dilakukan pengujian respon fisik meliputi stabilitas emulsi dan viskositas, kemudian respon kimia meliputi kadar protein, kadar lemak, dan kadar karbohidrat, dan respon organoleptik menggunakan pengujian hedonik berupa warna, aroma, rasa, dan *aftertaste*.

4.2.1 Hasil Analisis Respon Fisik

Analisis respon fisik berupa stabilitas emulsi dan viskositas.

4.2.1.1 Hasil Analisis Stabilitas Emulsi

Stabilitas emulsi merupakan salah satu parameter penting dalam produk susu nabati karena berkaitan dengan kemampuan produk mempertahankan sistem emulsi selama penyimpanan. Stabilitas emulsi yang rendah dapat menyebabkan terjadinya pemisahan fase, sehingga minyak dapat terpisah dan membentuk lapisan pada permukaan produk. Sebaliknya, stabilitas emulsi yang tinggi menunjukkan

bahwa sistem emulsi lebih mampu mempertahankan dispersi komponen minyak dan air sehingga pemisahan fase dapat diminimalkan.

Tabel 8. Hasil Analisis Stabilitas Emulsi

Formula	Natrium Kaseinat (%)	Monodigliserida (%)	Stevia (%)	Stabilitas Emulsi (%)
1	1,5	0,23	0,07	82,98
2	1,2075	0,5075	0,085	91,33
3	1,5	0,215	0,085	85,34
4	0,9	0,8	0,1	88,11
5	1,06875	0,65375	0,0775	91,52
6	0,93	0,8	0,07	86,59
7	1,5	0,2	0,1	85,94
8	1,35375	0,35375	0,0925	91,51
9	0,93	0,8	0,07	88,22
10	1,5	0,23	0,07	86,40
11	0,9	0,8	0,1	86,96
12	1,05375	0,65375	0,0925	89,02
13	0,915	0,8	0,085	88,93
14	1,2	0,5	0,1	88,12

Berdasarkan hasil analisis, stabilitas emulsi produk berkisar antara 82,98-91,52% dengan nilai rata-rata 87,93%. Nilai stabilitas emulsi tertinggi diperoleh pada Formula 5 sebesar 91,52%, sedangkan nilai stabilitas emulsi terendah diperoleh pada Formula 1 sebesar 82,98%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa stabilitas emulsi tidak hanya ditentukan oleh tingginya konsentrasi salah satu komponen, tetapi oleh kombinasi proporsi ketiga komponen dalam sistem campuran.

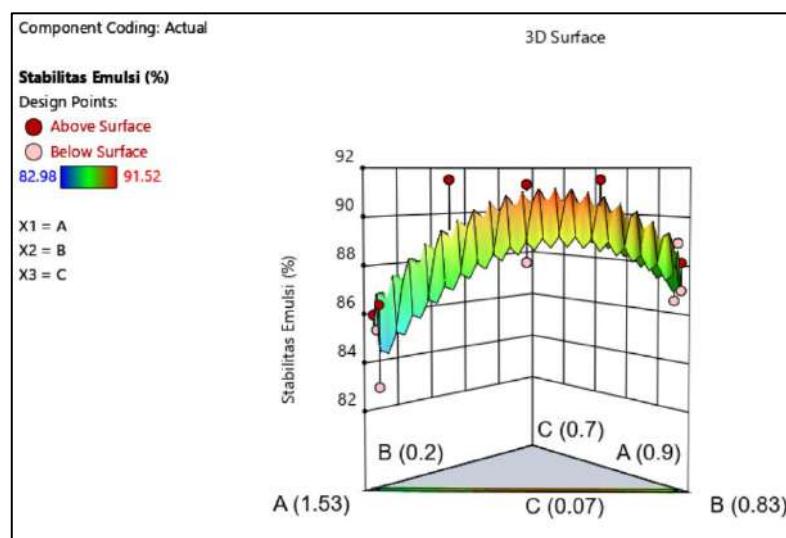
Tabel 9. ANOVA Analisis Stabilitas Emulsi

Sumber	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-value	p-value
Model	59,53	5	11,91	4,69	0,0269 Signifikan
<i>Linear Mixture</i>	14,26	2	7,13	2,81	0,1193
AB	18,48	1	18,48	7,88	0,0272
AC	6,59	1	6,59	2,59	0,1460
BC	6,41	1	6,41	2,52	0,1509
Residual	20,32	8	2,54		
<i>Lack of Fit</i>	12,48	5	2,50	0,9556	0,5515 Tidak signifikan
<i>Pure Error</i>	7,84	3	2,61		
Cor Total	79,85	13			

Hasil analisis uji ANOVA dapat dilihat pada Tabel 9. Model polinomial yang disarankan oleh *Design Expert* untuk respon stabilitas emulsi adalah model *quadratic*. Model memiliki nilai F sebesar 4,69 dengan p-value 0,0269 (Prob > F lebih kecil dari 0,05), sehingga model dinyatakan signifikan. Di antara suku-suku pembentuk model, interaksi AB (interaksi natrium kaseinat dengan monodigliserida) menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap stabilitas emulsi dengan p-value sebesar 0,0272, sedangkan komponen *Linear Mixture* (p-value 0,1193) serta interaksi AC (p-value 0,1460) dan BC (p-value 0,1509) tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan. Nilai *lack of fit* lebih besar dari 0,05 yaitu sebesar 0,5515 yang menunjukkan bahwa *lack of fit* tidak signifikan, yang berarti terdapat kesesuaian antara data hasil analisis stabilitas emulsi dengan model.

Nilai R^2 sebesar 0,7455 menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan sekitar 74,55% variasi stabilitas emulsi pada data percobaan. Nilai *adjusted* R^2 sebesar 0,5865 dan nilai *predicted* R^2 sebesar 0,2019 menunjukkan bahwa

kemampuan model setelah memperhitungkan jumlah suku dan kemampuan prediksinya masih terbatas. Nilai *adeq precision* sebesar 6,1849 (> 4) menunjukkan rasio *signal-to-noise* yang memadai sehingga model masih dapat digunakan untuk mengevaluasi pola respons di dalam *design space* yang diteliti.



Gambar 8. Grafik 3D *Surface* Stabilitas Emulsi

Grafik 3D *Surface* pada Gambar 8 menunjukkan bahwa daerah dengan stabilitas emulsi lebih tinggi berada pada kombinasi proporsi monodigliserida yang relatif lebih tinggi dengan natrium kaseinat yang lebih rendah. Nilai sebesar 91,52% diperoleh pada Formulasi 5 dengan kombinasi natrium kaseinat 1,06875%, monodigliserida 0,65375%, dan stevia 0,0775%. Bentuk permukaan yang melengkung sesuai dengan model *quadratic* dan menunjukkan adanya pengaruh kombinasi antarkomponen.

Persamaan model dalam bentuk komponen aktual yang dihasilkan adalah $\text{Stabilitas Emulsi} = 83,80A + 87,14B - 2.769,59C + 14,62AB + 3.034,14AC + 2.997,81BC$. Nilai koefisien C (stevia) yang sangat besar dan bertanda negatif

karena rentang konsentrasi stevia relatif sempit. Interaksi AC dan BC yang bernilai positif dan besar mengindikasikan bahwa keberadaan stevia bersama-sama dengan natrium kaseinat maupun monodigliserida dapat meningkatkan stabilitas emulsi melebihi prediksi efek linear semata, meskipun secara individual pengaruh stevia terhadap stabilitas emulsi tidak signifikan.

Natrium kaseinat merupakan protein yang dapat berperan sebagai pengemulsi karena memiliki bagian hidrofilik dan hidrofobik yang memungkinkan interaksi pada antarmuka minyak dan air. Namun, peningkatan konsentrasi natrium kaseinat tidak selalu menghasilkan peningkatan stabilitas secara linear. Penelitian Karouw dan Santosa (2018) pada santan kelapa melaporkan bahwa santan yang dihasilkan tanpa penambahan emulsifier natrium kaseinat cenderung lebih stabil dibandingkan dengan santan yang ditambahkan natrium kaseinat. Temuan tersebut sejalan dengan kecenderungan pada penelitian ini, yaitu Formula 1 dengan proporsi natrium kaseinat tertinggi (1,5%) namun proporsi monodigliserida terendah (0,23%) justru menghasilkan stabilitas emulsi terendah, sedangkan formula dengan proporsi monodigliserida yang lebih seimbang cenderung menghasilkan stabilitas emulsi yang lebih baik. Hal ini menunjukkan bahwa peran monodigliserida sebagai pengemulsi berbasis lipid tampak lebih berkontribusi dalam menstabilkan sistem emulsi susu nabati sachet inchi pada penelitian ini, sejalan dengan prinsip bahwa kestabilan suatu emulsi sangat bergantung pada jenis dan kombinasi pengemulsi yang digunakan, bukan hanya pada konsentrasi totalnya (Akbari dan Nour, 2018).

4.1.1.2 Hasil Analisis Viskositas

Viskositas merupakan salah satu karakteristik fisik yang penting pada produk susu nabati karena berkaitan dengan kekentalan, *mouthfeel*, dan karakteristik aliran produk. Viskositas susu nabati dipengaruhi oleh komposisi bahan yang digunakan, terutama kandungan protein, hidrokoloid, dan komponen lain yang dapat meningkatkan interaksi antarpartikel dalam sistem. Pada formulasi susu nabati sachet inchi, penggunaan natrium kaseinat dan monodigliserida dapat memengaruhi struktur sistem emulsi, sedangkan komposisi keseluruhan formulasi dapat memengaruhi karakteristik aliran produk.

Berdasarkan formulasi yang ditentukan oleh program *Design Expert*, diperoleh hasil pengukuran viskositas pada masing-masing formulasi sebagaimana disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Analisis Viskositas

Run	Natrium Kaseinat (%)	Monodigliserida (%)	Stevia (%)	Viskositas (cP)
1	1,5	0,23	0,07	3,93
2	1,2075	0,5075	0,085	3,84
3	1,5	0,215	0,085	4,20
4	0,9	0,8	0,1	3,22
5	1,06875	0,65375	0,0775	3,72
6	0,93	0,8	0,07	3,61
7	1,5	0,2	0,1	4,12
8	1,35375	0,35375	0,0925	4,02
9	0,93	0,8	0,07	3,30
10	1,5	0,23	0,07	4,18
11	0,9	0,8	0,1	3,48
12	1,05375	0,65375	0,0925	3,78
13	0,915	0,8	0,085	3,60
14	1,2	0,5	0,1	3,88

Berdasarkan hasil analisis, viskositas produk berkisar antara 3,22-4,20 cP dengan nilai rata-rata sebesar 3,78 cP. Nilai viskositas tertinggi diperoleh pada Formula 3 sebesar 4,20 cP, sedangkan nilai terendah diperoleh pada Formula 4 sebesar 3,22 cP. Secara umum, formula dengan proporsi natrium kaseinat yang lebih tinggi disertai proporsi monodigliserida yang lebih rendah cenderung menghasilkan viskositas yang lebih tinggi.

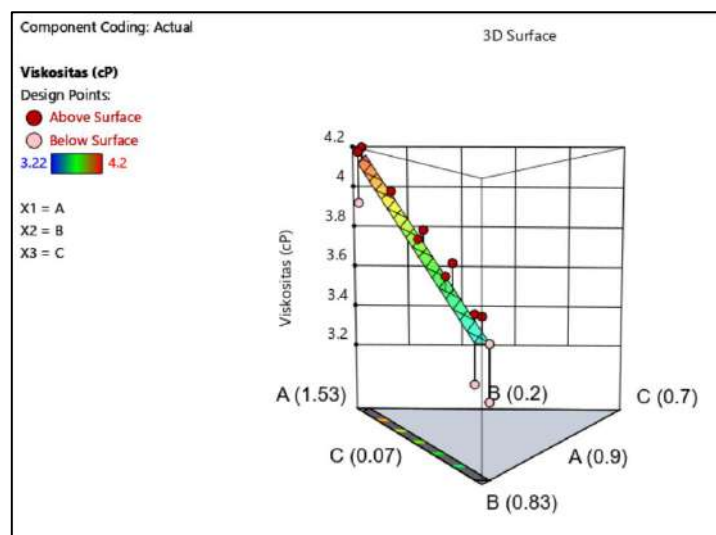
Nilai viskositas susu nabati sachet yang diperoleh dalam penelitian ini masih berada pada kisaran viskositas yang relatif rendah dan sesuai dengan karakteristik produk minuman. Viskositas susu sapi dilaporkan berada pada kisaran sekitar 2,2-3,4 mPa·s, sedangkan susu nabati memiliki kisaran viskositas yang bervariasi bergantung pada jenis bahan baku dan formulasi yang digunakan (McClements, 2020). Beberapa produk susu nabati dilaporkan memiliki viskositas yang mendekati susu sapi, sedangkan produk yang menggunakan bahan pengental dapat memiliki viskositas yang lebih tinggi (Jeske dkk., 2017 dalam McClements, 2020).

Tabel 11. ANOVA Analisis Viskositas

Sumber	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Model	1,04	2	0,5190	27,64	< 0,0001 Signifikan
<i>Linear Mixture</i>	1,04	2	0,5190	27,64	< 0,0001
Residual	0,2066	11	0,0188		
<i>Lack of Fit</i>	0,0935	8	0,0117	0,3099	0,9177 Tidak signifikan
<i>Pure Error</i>	0,1131	3	0,0377		
Cor Total	1,24	13			

Hasil analisis uji ANOVA dapat dilihat pada tabel 11. Model polinomial yang disarankan oleh *Design Expert* adalah model *linear*. Model memiliki nilai F sebesar 27,64 dan p-value < 0,0001 (Prob > F lebih kecil dari 0,05), sehingga model dinyatakan signifikan. Nilai *lack of fit* lebih besar dari 0,05 yaitu sebesar 0,9177 yang menunjukkan bahwa *lack of fit* tidak signifikan, yang berarti terdapat kesesuaian antara data hasil analisis viskositas dengan model.

Nilai R^2 sebesar 0,8340 menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan 83,40% variasi viskositas. Nilai *adjusted R^2* sebesar 0,8038 dan *Predicted R^2* sebesar 0,7028 memiliki selisih 0,1010 (< 0,2), yang menunjukkan kesesuaian prediksi dan kemampuan penjelasan model yang relative baik. Nilai C.V. sebesar 3,63% menunjukkan keragaman data yang relatif rendah. *Adeq Precision* sebesar 10,6759 (> 4) menunjukkan rasio *signal-to-noise* yang memadai untuk mengevaluasi *design space*.



Gambar 9. Grafik 3D Surface Viskositas

Grafik 3D *Surface* pada gambar 9 menunjukkan permukaan respons yang cenderung menurun dari daerah dengan proporsi natrium kaseinat lebih tinggi menuju daerah dengan proporsi monodigliserida lebih tinggi. Pola permukaan yang relatif datar dan tidak menunjukkan lengkungan tajam sesuai dengan model *linear*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan proporsi monodigliserida cenderung menurunkan viskositas, sedangkan peningkatan proporsi natrium kaseinat cenderung meningkatkan viskositas.

Persamaan model dalam bentuk komponen aktual yang dihasilkan adalah $\text{Viskositas} = 4,16A + 3,45B + 4,15C$. Nilai koefisien A (natrium kaseinat), B (monodigliserida), dan C (stevia) yang bernilai positif menunjukkan bahwa masing-masing komponen berkontribusi terhadap nilai viskositas dalam persamaan model. Koefisien natrium kaseinat dan stevia yang lebih besar dibandingkan monodigliserida menunjukkan bahwa perubahan proporsi kedua komponen tersebut menghasilkan perubahan nilai viskositas yang lebih besar berdasarkan model. Penurunan viskositas dengan meningkatnya proporsi monodigliserida dapat dikaitkan dengan perannya membentuk dan menstabilkan antar muka minyak-air, sehingga perubahan struktur droplet dapat memengaruhi karakteristik aliran emulsi. Sebaliknya, natrium kaseinat sebagai protein dapat meningkatkan interaksi dengan air dan memperbesar hambatan aliran.

4.2.2 Hasil Analisis Respon Kimia

Analisis respon kimia berupa analisis kadar protein menggunakan metode formol, kadar lemak menggunakan metode Soxhlet, dan kadar karbohidrat menggunakan uji *by different*.

4.2.2.1 Hasil Analisis Kadar Protein

Protein merupakan salah satu komponen penting dalam susu nabati karena berperan terhadap nilai gizi dan karakteristik produk. Kandungan protein pada susu nabati dipengaruhi oleh bahan baku dan bahan tambahan yang digunakan dalam formulasi. Natrium kaseinat merupakan sumber protein yang dapat meningkatkan kadar protein produk, sedangkan komponen lain dalam formulasi juga dapat memengaruhi kadar protein akhir produk. Berdasarkan formulasi yang ditentukan oleh program *Design Expert*, didapatkan hasil analisis kadar protein yang dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12. Hasil Analisis Kadar Protein

Formula	Natrium Kaseinat (%)	Monodigliserida (%)	Stevia (%)	Kadar Protein (%)
1	1,5	0,23	0,07	4,07
2	1,2075	0,5075	0,085	3,73
3	1,5	0,215	0,085	4,09
4	0,9	0,8	0,1	3,65
5	1,06875	0,65375	0,0775	3,69
6	0,93	0,8	0,07	3,39
7	1,5	0,2	0,1	4,08
8	1,35375	0,35375	0,0925	3,83
9	0,93	0,8	0,07	3,55
10	1,5	0,23	0,07	4,08
11	0,9	0,8	0,1	3,53
12	1,05375	0,65375	0,0925	3,67
13	0,915	0,8	0,085	3,52
14	1,2	0,5	0,1	3,88

Berdasarkan hasil analisis, kadar protein produk berkisar antara 3,39-4,09% dengan nilai rata-rata sebesar 3,77%. Kadar protein tertinggi diperoleh pada Formula 3 sebesar 4,09%, sedangkan kadar protein terendah diperoleh pada

Formula 6 sebesar 3,39%. Secara deskriptif, formula dengan proporsi natrium kaseinat yang lebih tinggi cenderung menghasilkan kadar protein yang lebih besar. Pola tersebut sesuai dengan fungsi natrium kaseinat sebagai bahan yang menyumbang protein pada formulasi.

Merujuk pada syarat mutu susu nabati yaitu SNI 01-3830-1995 tentang susu kedelai, kadar protein minimum yang dipersyaratkan adalah 2,00% (Badan Standardisasi Nasional, 1995). Seluruh formula susu nabati sachet inchi pada penelitian ini, baik pada nilai tertinggi maupun terendah, menghasilkan kadar protein yang berada di atas batas minimum tersebut, sehingga dari aspek kadar protein seluruh formula dapat dinyatakan memenuhi syarat mutu yang diacu.

Tabel 13. ANOVA Kadar Protein

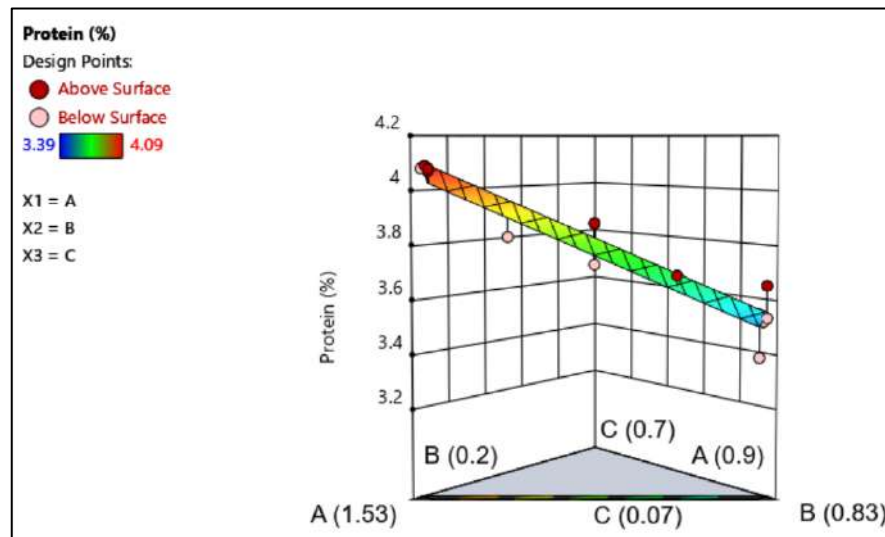
Sumber	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Model	0,6915	2	0,3457	70,29	< 0,0001 Signifikan
<i>Linear Mixture</i>	0,6915	2	0,3457	70,29	< 0,0001
Residual	0,0541	11	0,0049		
<i>Lack of Fit</i>	0,0341	8	0,0043	0,6369	0,7292 Tidak signifikan
<i>Pure Error</i>	0,0200	3	0,0067		
Cor Total	0,7456	13			

Hasil analisis uji ANOVA dapat dilihat pada Tabel 13. Model polinomial yang disarankan oleh *Design Expert* untuk respon kadar protein adalah model *linear*. Model memiliki nilai F sebesar 70,29 dengan p-value < 0,0001 (Prob > F lebih kecil dari 0,05), sehingga model dinyatakan signifikan. Nilai *lack of fit* lebih besar dari 0,05 yaitu sebesar 0,7292 yang menunjukkan bahwa *lack of fit* tidak

signifikan, yang berarti terdapat kesesuaian yang baik antara model dengan data hasil analisis kadar protein.

Nilai R^2 sebesar 0,9274 menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan 92,74% keragaman data kadar protein. Nilai *adjusted* R^2 sebesar 0,9142, dan nilai *predicted* R^2 sebesar 0,8790 memiliki selisih sebesar 0,0352 ($< 0,2$), yang menunjukkan *reasonable agreement* antara kemampuan penjelasan dan prediksi model. Nilai *adeq precision* sebesar 18,5043 (> 4) menunjukkan rasio *signal-to-noise* yang memadai, sehingga model dapat digunakan untuk mengevaluasi pola respons dalam *design space* yang diteliti.

Persamaan model dalam bentuk komponen aktual yang dihasilkan adalah Protein = 4,13057 A + 2,47036 B + 6,97136 C. Nilai koefisien C (stevia) yang besar disebabkan oleh rentang konsentrasinya yang relatif sempit, yaitu 0,07-0,1%. Oleh karena itu, nilai koefisien tersebut tidak dapat diartikan sebagai besarnya pengaruh stevia terhadap kadar protein. Koefisien natrium kaseinat (A) yang lebih tinggi dibandingkan monodigliserida (B) menunjukkan bahwa peningkatan proporsi natrium kaseinat cenderung meningkatkan kadar protein. Sebaliknya, peningkatan proporsi monodigliserida cenderung menurunkan kadar protein.



Gambar 10. Grafik 3D *Surface* Analisis Kadar Protein

Grafik 3D *Surface* pada Gambar 10 menunjukkan bahwa kadar protein cenderung lebih tinggi pada daerah dengan proporsi natrium kaseinat lebih tinggi dan lebih rendah pada daerah dengan natrium kaseinat rendah serta monodigliserida tinggi. Nilai tertinggi berada di sekitar 4,09%, sedangkan nilai terendah sekitar 3,39%. Pola ini sejalan dengan hasil ANOVA dan *Component Effects* yang menunjukkan bahwa natrium kaseinat merupakan komponen yang berpengaruh nyata terhadap kadar protein.

4.2.2.2 Hasil Analisis Kadar Lemak

Lemak berperan penting dalam produk pangan cair sebagai penyumbang tekstur *creamy*, *mouthfeel*, serta media pembawa senyawa flavor larut lemak (Winarno, 1992). Pada susu nabati sachet inchi, kadar lemak berasal dari minyak alami biji sachet inchi yang secara intrinsik kaya asam lemak, sedangkan kestabilan dispersi lemak dalam sistem emulsi sangat dipengaruhi oleh keberadaan

pengemulsi seperti monodigliserida yang bekerja menurunkan tegangan antarmuka minyak-air (Silsia dkk., 2017).

Tabel 14. Hasil Analisis Kadar Lemak

Formula	Natrium Kaseinat (%)	Monodigliserida (%)	Stevia (%)	Kadar Lemak (%)
1	1,5	0,23	0,07	5,81
2	1,2075	0,5075	0,085	6,05
3	1,5	0,215	0,085	5,61
4	0,9	0,8	0,1	6,07
5	1,06875	0,65375	0,0775	5,96
6	0,93	0,8	0,07	6,17
7	1,5	0,2	0,1	5,73
8	1,35375	0,35375	0,0925	6,05
9	0,93	0,8	0,07	6,14
10	1,5	0,23	0,07	6,03
11	0,9	0,8	0,1	6,06
12	1,05375	0,65375	0,0925	5,97
13	0,915	0,8	0,085	5,62
14	1,2	0,5	0,1	6,19

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 14, kadar lemak susu nabati sachet inchi berkisar antara 5,61-6,19% dengan nilai rata-rata sebesar 5,96%. Kadar lemak tertinggi diperoleh pada Formula 14 sebesar 6,19%, sedangkan nilai terendah terdapat pada Formula 3 sebesar 5,61%. Rentang yang relatif sempit menunjukkan bahwa variasi kadar lemak antarformula tidak terlalu besar.

Merujuk pada syarat mutu susu nabati yaitu SNI 01-3830-1995 tentang susu kedelai, kadar lemak minimum yang dipersyaratkan adalah 1,00% (Badan Standardisasi Nasional, 1995). Seluruh formula susu nabati sachet inchi pada penelitian ini, baik pada nilai tertinggi maupun terendah, menghasilkan kadar lemak

yang berada di atas batas minimum tersebut, sehingga dari aspek kadar lemak seluruh formula dapat dinyatakan memenuhi syarat mutu yang diacu.

Tabel 15. ANOVA Kadar Lemak

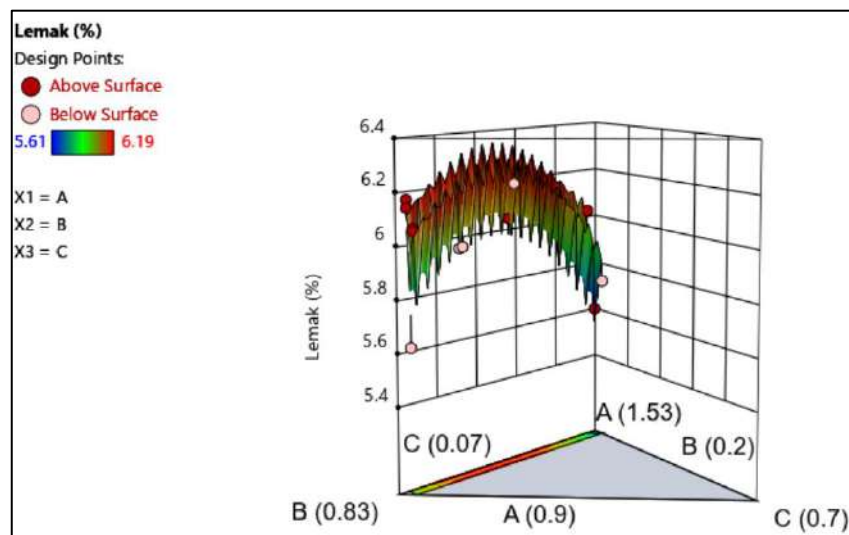
Sumber	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Model	0,3879	5	0,0776	6,32	0,0116 Signifikan
<i>Linear Mixture</i>	0,0819	2	0,0410	3,33	0,0885
AB	0,2090	1	0,2090	17,02	0,0033
AC	0,2226	1	0,2226	18,12	0,0028
BC	0,2210	1	0,2210	17,99	0,0028
Residual	0,0983	8	0,0123		
<i>Lack of Fit</i>	0,0736	5	0,0147	1,79	0,3355 Tidak signifikan
<i>Pure Error</i>	0,0247	3	0,0082		
Cor Total	0,4862	13			

Hasil analisis uji ANOVA dapat dilihat pada Tabel 15. Model polinomial yang disarankan oleh *Design Expert* untuk respon kadar lemak adalah model *quadratic*. Model memiliki nilai F sebesar 6,32 dengan p-value 0,0116 (Prob > F lebih kecil dari 0,05), sehingga model dinyatakan signifikan. Nilai *lack of fit* lebih besar dari 0,05 yaitu sebesar 0,3355 yang menunjukkan bahwa *lack of fit* tidak signifikan yang berarti terdapat kesesuaian yang baik antara model dengan data hasil analisis kadar lemak.

Nilai R^2 model sebesar 0,7979 menunjukkan bahwa model menjelaskan 79,79% keragaman data kadar lemak. Nilai *adjusted* R^2 sebesar 0,6715 dan nilai *predicted* R^2 sebesar 0,2528 memiliki selisih sebesar 0,4187 (> 0,2). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kemampuan prediksi model relatif terbatas. Nilai *Adeq Precision* sebesar 9,7101 (> 4) menunjukkan bahwa model memiliki rasio

signal-to-noise yang memadai, sehingga model masih dapat digunakan untuk mengevaluasi pola respons dalam *design space* yang diteliti. Oleh karena itu, model lebih tepat digunakan untuk menjelaskan kecenderungan data pada rentang percobaan daripada untuk memprediksi formulasi baru secara luas.

Persamaan model dalam bentuk komponen aktual yang dihasilkan adalah Lemak = 5,87 A + 6,04 B + 535,77 C + 1,56 AB - 557,83 AC - 556,79 BC. Nilai koefisien C (stevia) yang sangat besar tidak dapat diartikan sebagai besarnya pengaruh stevia terhadap kadar lemak. Interaksi AC dan BC yang bernilai negatif menunjukkan adanya kecenderungan penurunan kadar lemak akibat kombinasi stevia dengan natrium kaseinat maupun monodigliserida dalam model. Namun, interpretasi tersebut terbatas pada rentang formulasi yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 11. Grafik 3D *Surface* Analisis Kadar Lemak

Grafik 3D *Surface* pada Gambar 11 menunjukkan pola permukaan berbentuk kubah dengan kadar lemak lebih tinggi (6,1-6,2%) pada daerah

kombinasi natrium kaseinat dan monodigliserida yang relatif seimbang, sedangkan nilai lebih rendah (5,6-5,8%) berada pada daerah *design space*.

4.2.2.3 Hasil Analisis Kadar Karbohidrat

Karbohidrat merupakan salah satu komponen gizi yang terdapat dalam pangan dan berperan sebagai sumber energi bagi tubuh. Pada produk susu nabati, kandungan karbohidrat dapat berasal dari bahan baku maupun bahan tambahan yang digunakan dalam formulasi. Perbedaan proporsi bahan dalam formulasi dapat menyebabkan perbedaan kandungan karbohidrat pada produk akhir. Oleh karena itu, respon karbohidrat perlu dianalisis untuk mengetahui pengaruh formulasi natrium kaseinat, monodigliserida, dan stevia terhadap kandungan karbohidrat susu nabati sachet inchi.

Tabel 16. Hasil Analisis Kadar Karbohidrat

Formula	Natrium Kaseinat (%)	Monodigliserida (%)	Stevia (%)	Kadar Karbohidrat (%)
1	1,5	0,23	0,07	0,8
2	1,2075	0,5075	0,085	0,99
3	1,5	0,215	0,085	1,04
4	0,9	0,8	0,1	1,18
5	1,06875	0,65375	0,0775	1
6	0,93	0,8	0,07	0,88
7	1,5	0,2	0,1	1,01
8	1,35375	0,35375	0,0925	0,92
9	0,93	0,8	0,07	0,81
10	1,5	0,23	0,07	0,84
11	0,9	0,8	0,1	1,2
12	1,05375	0,65375	0,0925	0,96
13	0,915	0,8	0,085	0,76
14	1,2	0,5	0,1	1,02

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 16, kadar karbohidrat susu nabati sachet berkisar antara 0,76-1,20% dengan nilai rata-rata sebesar 0,96%. Kadar karbohidrat tertinggi diperoleh pada Formula 11 sebesar 1,20%, sedangkan nilai terendah diperoleh pada Formula 13 sebesar 0,76%. Variasi tersebut menunjukkan bahwa kadar karbohidrat relatif rendah pada seluruh formulasi dan perbedaannya antarformula tidak dapat dihubungkan secara langsung dengan satu bahan karena metode analisis yang digunakan adalah *by difference*.

Tabel 17. ANOVA Kadar Karbohidrat

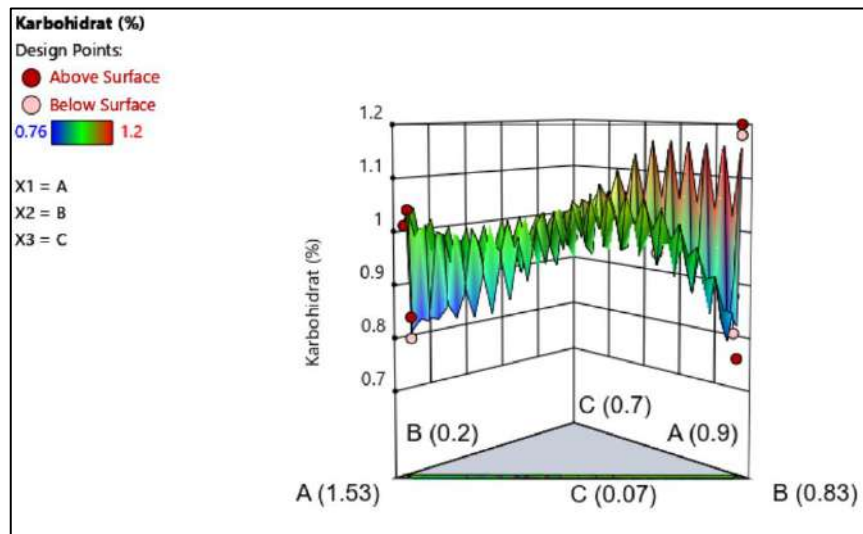
Sumber	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Model	0,2278	9	0,0253	28,15	0,0029 Signifikan
<i>Linear Mixture</i>	0,1264	2	0,0632	70,26	0,0008
AB	0,0113	1	0,0113	12,55	0,0240
AC	0,0033	1	0,0033	3,62	0,1297
BC	0,0031	1	0,0031	3,43	0,1376
ABC	0,0031	1	0,0031	3,43	0,1376
AB(A-B)	0,0057	1	0,0057	6,30	0,0661
AC(A-C)	0,0034	1	0,0034	3,77	0,1242
BC(B-C)	0,0029	1	0,0029	3,17	0,1495
Residual	0,0036	4	0,0009		
<i>Lack of Fit</i>	0,0001	1	0,0001	0,1278	0,7444 Tidak signifikan
<i>Pure Error</i>	0,0034	3	0,0011		
Cor Total	0,2314	13			

Hasil analisis uji ANOVA dapat dilihat pada Tabel 17. Model polinomial yang disarankan *Design Expert* untuk respon kadar karbohidrat adalah model *cubic*. Model menunjukkan memiliki nilai F sebesar 28,15 dengan p-value 0,0029 ($\text{Prob} > F$ lebih kecil dari 0,05), sehingga model dinyatakan signifikan. Di antara suku-suku model, komponen *Linear Mixture* ($p = 0,0008$) dan interaksi AB ($p = 0,0240$)

signifikan, sedangkan suku-suku interaksi tingkat tinggi lainnya (AC, BC, ABC, AB(A-B), AC(A-C), BC(B-C)) tidak signifikan pada taraf 5%. Nilai *lack of fit* lebih besar dari 0,05 yaitu sebesar 0,7444 yang menunjukkan bahwa *lack of fit* tidak signifikan yang berarti terdapat kesesuaian yang baik antara model dengan data hasil analisis kadar karbohidrat.

Nilai R^2 model sebesar 0,9845 menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan 98,45% keragaman data kadar karbohidrat. Nilai *adjusted* R^2 sebesar 0,9495 dan nilai *predicted* R^2 tidak dapat dihitung (NA) karena terdapat titik *leverage* bernilai 1.0000, sehingga nilai PRESS tidak dapat ditentukan. Oleh karena itu, nilai R^2 yang tinggi tidak dapat langsung diartikan bahwa model memiliki kemampuan prediksi yang tinggi. Nilai *Adeq Precision* sebesar 16,9692 (> 4) menunjukkan bahwa model memiliki rasio *signal-to-noise* yang memadai untuk mengevaluasi *design space* yang diteliti.

Persamaan model dalam bentuk komponen aktual yang dihasilkan adalah Karbohidrat = $0,8005 A + 0,7637 B + 7888,82 C + 1,10 AB - 12236,20 AC - 11904,05 BC + 8357,72 ABC - 0,7017 AB(A-B) + 4375,05 AC(A-C) + 4013,21 BC(B-C)$. Nilai koefisien C (stevia) yang sangat besar dipengaruhi oleh rentang konsentrasinya yang relatif sempit, yaitu 0,07-0,1%, sehingga tidak dapat diartikan sebagai besarnya pengaruh stevia terhadap kadar karbohidrat. Interpretasi model yang lebih kuat didasarkan pada suku yang signifikan, yaitu *Linear Mixture* dan interaksi AB, yang menunjukkan bahwa komposisi campuran dan interaksi natrium kaseinat dengan monodigliserida berkaitan dengan perubahan kadar karbohidrat pada rentang penelitian.



Gambar 12. Grafik 3D *Surface Analysis* Karbohidrat

Grafik 3D *Surface* pada gambar 12 menunjukkan permukaan respon yang lebih kompleks dan berpola tidak beraturan (bergelombang) dibandingkan respon *linear*. Nilai tertinggi berada di sekitar 1,20%, sedangkan nilai terendah sekitar 0,76-0,80%. Bentuk permukaan tersebut merupakan representasi model *cubic* dalam rentang *design space*. Karena kadar karbohidrat dihitung secara *by difference*, pola tersebut perlu dipahami sebagai hasil perubahan komponen proksimat lain secara keseluruhan.

4.2.3 Hasil Analisis Respon Organoleptik

Analisis respon organoleptik dengan metode uji hedonik dengan atribut Warna, Aroma, Rasa, dan *Aftertaste*. Uji hedonik dilakukan oleh panelis menggunakan skala numerik, di mana semakin tinggi nilai yang diberikan menunjukkan semakin tinggi tingkat kesukaan panelis terhadap atribut sensoris yang dinilai. Keempat atribut tersebut dipilih karena secara keseluruhan mewakili

aspek-aspek utama yang memengaruhi penerimaan konsumen terhadap produk minuman susu fungsional yang dikembangkan.

4.2.3.1 Hasil Analisis Organoleptik Atribut Warna

Warna merupakan salah satu atribut penting dalam menentukan tingkat penerimaan konsumen terhadap suatu produk pangan. Warna menjadi salah satu karakteristik yang pertama kali diamati oleh panelis sebelum menilai atribut sensori lainnya. Warna yang menarik dapat meningkatkan daya terima konsumen terhadap produk, sedangkan warna yang kurang menarik dapat menurunkan tingkat kesukaan panelis.

Tabel 18. Hasil Analisis Organoleptik Atribut Warna

Formula	Natrium Kaseinat (%)	Monodigliserida (%)	Stevia (%)	Warna
1	1,5	0,23	0,07	4,6
2	1,2075	0,5075	0,085	4,5
3	1,5	0,215	0,085	4,57
4	0,9	0,8	0,1	4,63
5	1,06875	0,65375	0,0775	4,6
6	0,93	0,8	0,07	4,5
7	1,5	0,2	0,1	4,73
8	1,35375	0,35375	0,0925	4,53
9	0,93	0,8	0,07	4,63
10	1,5	0,23	0,07	4,27
11	0,9	0,8	0,1	4,63
12	1,05375	0,65375	0,0925	4,27
13	0,915	0,8	0,085	4,7
14	1,2	0,5	0,1	4,67

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 18, nilai warna pada seluruh formulasi berkisar antara 4,27-4,73 dengan nilai rata-rata 4,56. Nilai warna tertinggi diperoleh pada Formula 7 sebesar 4,73, sedangkan nilai warna terendah terdapat pada

Formula 10 dan Formula 12 sebesar 4,27. Nilai-nilai tersebut menunjukkan tingkat penerimaan panelis terhadap warna produk secara umum berada pada kategori netral hingga suka.

Tabel 19. ANOVA Organoleptik Atribut Warna

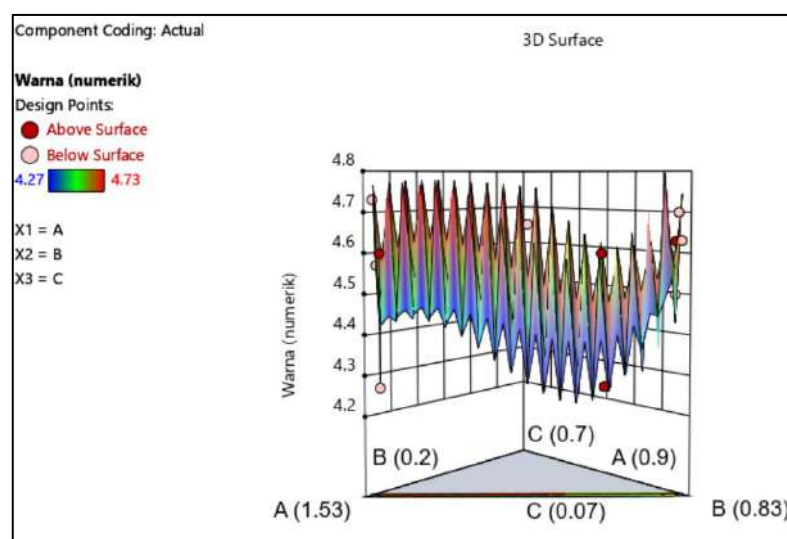
Sumber	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Model	0,1915	9	0,0213	1,34	0,4145 Tidak signifikan
<i>Linear Mixture</i>	0,0306	2	0,0153	0,9667	0,4545
AB	0,0104	1	0,0104	0,6559	0,4635
AC	0,0873	1	0,0873	5,51	0,0787
BC	0,0876	1	0,0876	5,53	0,0783
ABC	0,0873	1	0,0873	5,51	0,0788
AB(A-B)	0,0348	1	0,0348	2,20	0,2122
AC(A-C)	0,0869	1	0,0869	5,49	0,0792
BC(B-C)	0,0878	1	0,0878	5,54	0,0782
Residual	0,0634	4	0,0158		
<i>Lack of Fit</i>	0,0005	1	0,0005	0,0221	0,8912 Tidak signifikan
<i>Pure Error</i>	0,0629	3	0,0210		
Cor Total	0,2549	13			

Hasil analisis ANOVA dapat dilihat pada Tabel 19. Model polinomial yang disarankan *Design Expert* untuk respon warna adalah model *cubic*. Model memiliki nilai F sebesar 1,34 dan p-value sebesar 0,4145 (Prob > F lebih besar dari 0,05), sehingga model dinyatakan tidak signifikan. Nilai *lack of fit* lebih besar dari 0,05 yaitu sebesar 0,0221 yang menunjukkan bahwa *lack of fit* tidak signifikan yang berarti terdapat kesesuaian yang baik antara model dengan data hasil analisis kadar karbohidrat.

Nilai R^2 sebesar 0,7514 menunjukkan bahwa model menjelaskan 75,14% keragaman respon warna. Sementara itu, nilai *adjusted* R^2 sebesar 0,1921

menunjukkan bahwa kemampuan model setelah mempertimbangkan jumlah term relatif rendah. Sementara itu, nilai *predicted R²* tidak dapat dihitung (NA). Nilai *adeq precision* sebesar 4,3516 (> 4) menunjukkan bahwa model memiliki signal yang memadai untuk digunakan dalam navigasi *design space*.

Persamaan model dalam bentuk komponen aktual yang dihasilkan adalah $\text{Warna} = -55,61A - 38,90B + 497.067,22C - 23,22AB - 433.587,69AC - 434.301,47BC + 177.729,15ABC + 6,96AB(A-B) + 88.608,10AC(A-C) + 89.036,18BC(B-C)$. Nilai koefisien C (stevia) dan beberapa suku interaksi yang sangat besar dipengaruhi oleh rentang konsentrasi stevia yang relatif sempit, sehingga tidak dapat diartikan secara langsung sebagai besarnya pengaruh komponen terhadap warna. Model warna secara keseluruhan tidak signifikan dengan nilai $p = 0,4145$, sehingga persamaan tersebut hanya menggambarkan hubungan matematis antar komponen dalam rentang formulasi yang diteliti dan tidak menunjukkan adanya pengaruh nyata komponen terhadap warna.



Gambar 13. Grafik 3D *Surface Respon* Warna

Grafik 3D *Surface* respon warna menunjukkan rentang skor hedonik warna sekitar 4,27-4,73. Permukaan respon menunjukkan perubahan nilai warna pada berbagai kombinasi natrium kaseinat, monodigliserida, dan stevia dalam *design space* yang diteliti. Namun, model warna tidak signifikan secara statistik ($p = 0,4145$), sehingga perubahan permukaan tersebut tidak dapat digunakan untuk menyatakan adanya pengaruh nyata komponen terhadap warna.

Secara keseluruhan, hasil organoleptik warna menunjukkan bahwa formulasi susu nabati sachet inchi pada rentang konsentrasi yang diuji menghasilkan penerimaan warna yang relatif seragam. Kondisi tersebut dapat berkaitan dengan karakteristik bahan dasar dan proses pengolahan yang relatif sama pada seluruh formulasi. Sachet inchi sendiri merupakan bahan yang kaya lipid dan protein, sehingga perubahan proporsi bahan fungsional dalam jumlah relatif kecil tidak selalu menghasilkan perubahan penampakan yang mudah dibedakan secara sensoris (Gutiérrez dkk., 2011). Dengan demikian, warna belum menjadi respon yang kuat untuk membedakan formulasi berdasarkan variasi natrium kaseinat, monodigliserida, dan stevia.

4.2.3.2 Hasil Analisis Organoleptik Atribut Aroma

Aroma merupakan salah satu atribut sensoris yang berperan penting dalam menentukan tingkat penerimaan konsumen terhadap suatu produk pangan, termasuk minuman susu nabati. Penilaian aroma dilakukan secara organoleptik oleh panelis menggunakan skala numerik. Berdasarkan formulasi yang ditentukan oleh program *Design Expert*, diperoleh hasil organoleptik aroma yang dapat dilihat pada Tabel 20.

Aroma khas kacang (*nutty*) yang berasal dari biji sacha inchi menjadi karakter dasar aroma produk. Karakter tersebut berasal dari komponen volatil yang terdapat secara alami pada biji sacha inchi dan dapat menjadi salah satu karakteristik yang memengaruhi penerimaan panelis terhadap aroma produk. Penambahan natrium kaseinat, monodigliserida, dan stevia berpotensi memengaruhi karakter aroma yang dihasilkan. Stevia diketahui dapat memberikan aroma atau *after-aroma* herbal ringan pada produk, meskipun digunakan dalam jumlah relatif kecil (Tao dan Cho, 2020).

Tabel 20. Hasil Analisis Organoleptik Atribut Aroma

Formula	Natrium Kaseinat (%)	Monodigliserida (%)	Stevia (%)	Aroma
1	1,5	0,23	0,07	3,7
2	1,2075	0,5075	0,085	3,5
3	1,5	0,215	0,085	3,4
4	0,9	0,8	0,1	3,6
5	1,06875	0,65375	0,0775	3,27
6	0,93	0,8	0,07	3,7
7	1,5	0,2	0,1	3,63
8	1,35375	0,35375	0,0925	3,2
9	0,93	0,8	0,07	3,63
10	1,5	0,23	0,07	3,67
11	0,9	0,8	0,1	3,7
12	1,05375	0,65375	0,0925	3,73
13	0,915	0,8	0,085	3,63
14	1,2	0,5	0,1	3,4

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 20, nilai aroma pada seluruh formulasi berkisar antara 3,20-3,73 dengan nilai rata-rata 3,55. Nilai aroma tertinggi diperoleh pada Formula 12 sebesar 3,73, sedangkan nilai aroma terendah terdapat pada Formula 8 sebesar 3,20. Nilai-nilai tersebut menunjukkan tingkat

kesukaan panelis terhadap aroma produk berada pada kategori agak tidak suka hingga netral.

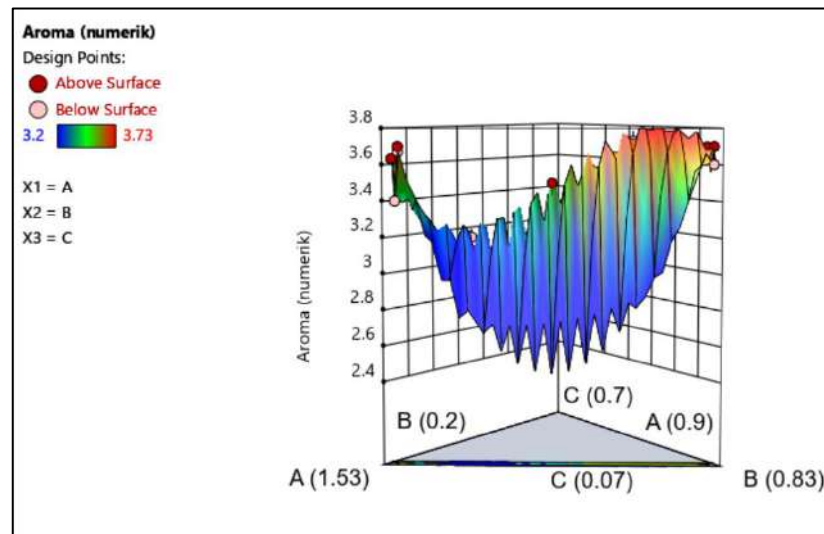
Tabel 21. ANOVA Organoleptik Atribut Aroma

Sumber	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Model	0,3569	8	0,0446	8,18	0,0166 Signifikan
<i>Linear Mixture</i>	0,0347	2	0,0174	3,19	0,1282
AB	0,1047	1	0,1047	19,21	0,0071
AC	0,0786	1	0,0786	14,42	0,0127
BC	0,0779	1	0,0779	14,29	0,0129
A ² BC	0,0476	1	0,0476	8,74	0,0317
AB ² C	0,1100	1	0,1100	20,19	0,0064
ABC ²	0,0717	1	0,0717	13,15	0,0151
Residual	0,0273	5	0,0055		
<i>Lack of Fit</i>	0,0194	2	0,0097	3,67	0,1561 Tidak signifikan
<i>Pure Error</i>	0,0079	3	0,0026		
Cor Total	0,3841	13			

Hasil ANOVA dapat dilihat pada Tabel 21. Model polinomial yang disarankan *Design Expert* untuk respon aroma adalah model *special quartic*. Model memiliki nilai F sebesar 8,18 dan p-value sebesar 0,0166 (Prob > F lebih kecil dari 0,05), sehingga model dinyatakan signifikan. Diantara suku-suku model, interaksi AB dengan p-value 0,0071, AC sebesar 0,0127, BC sebesar 0,0129, A²BC sebesar 0,0317, AB²C sebesar 0,0064, dan ABC² sebesar 0,0151 dinyatakan signifikan, sedangkan komponen *Linear Mixture* (p = 0,1282) tidak signifikan pada taraf 5%. Nilai *lack of fit* lebih besar dari 0,05 yaitu sebesar 0,1561 yang menunjukkan bahwa *lack of fit* tidak signifikan yang berarti terdapat kesesuaian yang baik antara model dengan data hasil analisis respon aroma.

Nilai R^2 sebesar 0,9291 menunjukkan bahwa model menjelaskan 92,91% keragaman respon aroma. Nilai *adjusted* R^2 sebesar 0,8155 menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan sebagian besar variasi respon aroma pada data yang digunakan. Nilai *predicted* R^2 bernilai negatif sebesar -0,9023 menunjukkan bahwa kemampuan prediksi model terhadap data baru masih rendah, sehingga model perlu digunakan secara hati-hati apabila diterapkan untuk memprediksi formulasi di luar data percobaan. Nilai *adeq precision* sebesar 9,1058 (> 4) menunjukkan bahwa model memiliki signal yang memadai untuk digunakan dalam navigasi *design space*.

Persamaan model dalam bentuk komponen aktual yang dihasilkan adalah
$$\text{Aroma} = -12,92A - 9,37B + 2.469,76C + 130,29AB - 1.416,69AC - 2.970,78BC + 286,75ABC + 25,46A^2 + 183,70B^2 - 6.076,99C^2 - 127,30A^2B - 204,11AB^2 - 363,72A^2C + 6.752,22AC^2 - 2.624,30B^2C + 30.384,97BC^2 + 1.818,58A^2BC + 2.915,89AB^2C - 33.761,06ABC^2.$$
 Nilai koefisien pada suku yang melibatkan stevia (C) yang relatif besar dipengaruhi oleh rentang konsentrasi stevia yang sempit, sehingga nilai koefisien tersebut tidak dapat digunakan secara langsung untuk menunjukkan besarnya pengaruh stevia terhadap aroma. Interpretasi model selanjutnya didasarkan pada signifikansi masing-masing suku yang diperoleh dari hasil analisis ANOVA.



Gambar 14. Grafik 3D *Surface Respon* Aroma

Grafik 3D *Surface* menunjukkan permukaan aroma yang melengkung dengan pola perubahan yang kompleks pada *design space*. Nilai aroma pada grafik berada pada kisaran sekitar 2,4-3,7 dan menunjukkan adanya perubahan respons pada berbagai kombinasi proporsi natrium kaseinat, monodigliserida, dan stevia. Bentuk permukaan tersebut sejalan dengan model *special quartic* yang diperoleh, yang melibatkan beberapa suku interaksi antarkomponen.

Peran komponen formulasi terhadap aroma juga dapat dikaitkan dengan karakteristik sistem emulsi. Monodigliserida dapat membentuk struktur pada sistem emulsi dan memengaruhi pelepasan senyawa volatil, sedangkan natrium kaseinat berperan sebagai protein pengemulsi yang memengaruhi struktur antarmuka minyak-air (Mao dkk., 2012; Liao dkk., 2022). Perubahan struktur emulsi tersebut berpotensi mengubah pelepasan dan persepsi senyawa aroma selama konsumsi. Dengan demikian, pola aroma yang dihasilkan dari formulasi tidak hanya

dipengaruhi oleh keberadaan komponen, tetapi juga oleh interaksi antarkomponen dalam sistem susu nabati.

4.2.3.3 Hasil Analisis Organoleptik Atribut Rasa

Rasa merupakan atribut sensoris yang paling menentukan penerimaan akhir konsumen terhadap suatu produk pangan fungsional, karena berkaitan langsung dengan sensasi yang dirasakan pada indra pengecap saat produk dikonsumsi. Penilaian rasa dilakukan secara organoleptik oleh panelis menggunakan skala numerik. Berdasarkan formulasi yang ditentukan oleh program *Design Expert*, diperoleh hasil analisis rasa yang dapat dilihat pada Tabel 22.

Rasa produk pada penelitian ini banyak dipengaruhi oleh penambahan stevia sebagai pemanis alami intensitas tinggi, yang berperan langsung dalam memberikan sensasi manis pada produk. Di sisi lain, natrium kaseinat sebagai protein hewani berpotensi menimbulkan rasa gurih (*savory*) atau sedikit rasa *dairy* yang dapat berinteraksi dengan rasa khas nabati *sacha inchi*, sementara monodigliserida sebagai *emulsifier* umumnya tidak memberikan kontribusi rasa yang signifikan namun dapat memengaruhi persepsi rasa melalui perubahan tekstur dan pelepasan senyawa rasa dari fase lipid.

Tabel 22. Hasil Analisis Respon Rasa

Formula	Natrium Kaseinat (%)	Monodigliserida (%)	Stevia (%)	Rasa
1	1,5	0,23	0,07	3,17
2	1,2075	0,5075	0,085	3,4
3	1,5	0,215	0,085	2,93
4	0,9	0,8	0,1	3,63
5	1,06875	0,65375	0,0775	2,93
6	0,93	0,8	0,07	2,87
7	1,5	0,2	0,1	3,2
8	1,35375	0,35375	0,0925	3,4
9	0,93	0,8	0,07	3,4
10	1,5	0,23	0,07	3,13
11	0,9	0,8	0,1	3,63
12	1,05375	0,65375	0,0925	3,4
13	0,915	0,8	0,085	3,63
14	1,2	0,5	0,1	3,4

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 22, nilai rasa pada seluruh formulasi berkisar antara 2,87-3,63 dengan nilai rata-rata 3,30. Nilai rasa tertinggi diperoleh pada Formula 4, Formula 11, dan Formula 13 sebesar 3,63, sedangkan nilai rasa terendah terdapat pada Formula 6 sebesar 2,87. Nilai-nilai tersebut menunjukkan tingkat kesukaan panelis terhadap rasa produk berada pada kategori agak tidak suka hingga suka.

Tabel 23. ANOVA Respon Rasa

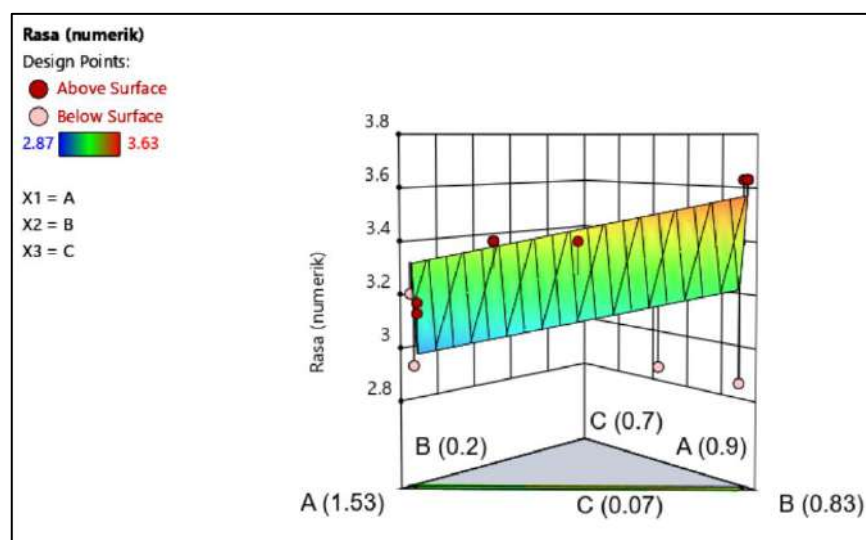
Sumber	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Model	0,4237	2	0,2119	4,99	0,0287 Signifikan
<i>Linear Mixture</i>	0,4237	2	0,2119	4,99	0,0287
Residual	0,4670	11	0,0425		
<i>Lack of Fit</i>	0,3258	8	0,0407	0,8649	0,6156 Tidak signifikan
<i>Pure Error</i>	0,1412	3	0,0471		
Cor Total	0,8907	13			

Hasil ANOVA dapat dilihat pada Tabel 23. Model polinomial yang disarankan *Design Expert* untuk respon rasa adalah model *linear*. Model memiliki nilai F sebesar 4,99 dan p-value sebesar 0,0287 (Prob > F lebih kecil dari 0,05), sehingga model dinyatakan signifikan. Nilai *lack of fit* lebih besar dari 0,05 yaitu sebesar 0,6156 yang menunjukkan bahwa *lack of fit* tidak signifikan yang berarti terdapat kesesuaian yang baik antara model dengan data hasil analisis respon rasa.

Nilai R^2 sebesar 0,4757 menunjukkan bahwa model menjelaskan 47,57% keragaman respon rasa, sedangkan 52,43% sisanya dipengaruhi oleh faktor lain di luar model. Nilai *adjusted* R^2 sebesar 0,3804 dan *predicted* R^2 sebesar 0,1146 memiliki selisih lebih dari 0,2, yang menunjukkan kemungkinan adanya efek blok atau ketidaksesuaian model/data yang perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil. Nilai *adeq precision* sebesar 6,1115 (> 4) menunjukkan bahwa model memiliki signal yang memadai untuk digunakan dalam navigasi *design space*.

Persamaan model dalam bentuk aktual yang dihasilkan adalah Rasa = 1,15 A + 1,57 B + 12,74 C. Nilai koefisien Stevia (C) yang lebih besar dibandingkan

natrium kaseinat (A) dan monodiglisierida (B) menunjukkan bahwa perubahan proporsi stevia dalam rentang formulasi yang diuji memberikan perubahan respon rasa yang lebih besar secara numerik dalam persamaan model. Namun, besarnya koefisien antar-komponen tidak dapat digunakan secara langsung untuk menentukan komponen yang paling berpengaruh terhadap rasa karena setiap komponen memiliki rentang konsentrasi yang berbeda. Interpretasi pengaruh masing-masing komponen selanjutnya perlu didasarkan pada hasil analisis statistik dan *Component Effects*.



Gambar 15. Grafik 3D *Surface* Respon Rasa

Grafik 3D *Surface* memperlihatkan permukaan yang cenderung meningkat secara bertahap dari skor rendah menuju skor lebih tinggi, sesuai dengan hasil koefisien yang menunjukkan kontribusi positif terbesar dari stevia. Dengan demikian, respon rasa menunjukkan bahwa stevia merupakan komponen yang secara deskriptif paling kuat dalam meningkatkan skor rasa pada rentang formulasi

yang digunakan, sedangkan natrium kaseinat dan monodigliserida memberikan kontribusi yang lebih kecil atau negatif.

4.2.3.4 Hasil Analisis Organoleptik Atribut *Aftertaste*

Aftertaste atau kesan rasa tertinggal merupakan atribut sensoris yang menggambarkan sensasi rasa yang masih dirasakan panelis setelah produk ditelan, dan menjadi salah satu faktor penting dalam evaluasi produk susu nabati berbasis pemanis alternatif. Penilaian *aftertaste* dilakukan secara organoleptik oleh panelis menggunakan skala numerik. Berdasarkan formulasi yang ditentukan oleh program *Design Expert*, diperoleh hasil analisis *aftertaste* yang dapat dilihat pada Tabel 24.

Tabel 24. Hasil Analisis Respon *Aftertaste*

Formula	Natrium Kaseinat (%)	Monodigliserida (%)	Stevia (%)	<i>Aftertaste</i>
1	1,5	0,23	0,07	2,9
2	1,2075	0,5075	0,085	2,87
3	1,5	0,215	0,085	2,63
4	0,9	0,8	0,1	2,63
5	1,06875	0,65375	0,0775	2,63
6	0,93	0,8	0,07	2,57
7	1,5	0,2	0,1	2,6
8	1,35375	0,35375	0,0925	2,63
9	0,93	0,8	0,07	2,57
10	1,5	0,23	0,07	2,63
11	0,9	0,8	0,1	3
12	1,05375	0,65375	0,0925	3
13	0,915	0,8	0,085	2,87
14	1,2	0,5	0,1	2,77

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 24, nilai *aftertaste* pada seluruh formulasi berkisar antara 2,57-3,00 dengan nilai rata-rata 2,73. Nilai tertinggi diperoleh pada Formula 11 dan Formula 12 sebesar 3,00, sedangkan nilai terendah

diperoleh pada Formula 6 dan Formula 9 sebesar 2,57. Nilai-nilai tersebut menunjukkan tingkat kesukaan panelis terhadap *aftertaste* produk secara umum berada pada kategori agak tidak suka hingga netral, sedikit lebih rendah dibandingkan atribut sensoris lain yang diuji

Tabel 25. ANOVA Respon *Aftertaste*

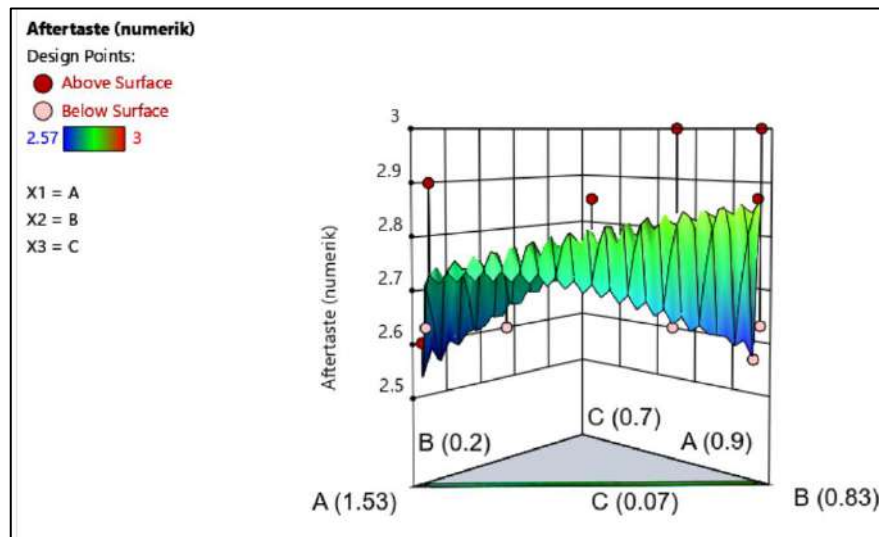
Sumber	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Model	0,1480	5	0,0296	1,28	0,3596 Tidak signifikan
<i>Linear Mixture</i>	0,0317	2	0,0158	0,6842	0,5317
AB	0,0079	1	0,0079	0,3429	0,5743
AC	0,0103	1	0,0103	0,4451	0,5235
BC	0,0122	1	0,0122	0,5282	0,4881
Residual	0,1851	8	0,0231		
<i>Lack of Fit</i>	0,0802	5	0,0160	0,4588	0,7912 Tidak signifikan
<i>Pure Error</i>	0,1049	3	0,0350		
Cor Total	0,3331	13			

Hasil ANOVA dapat dilihat pada Tabel 25. Model polinomial yang disarankan *Design Expert* untuk respon rasa adalah model *quadratic*. Model nilai F sebesar 1,28 dan p-value sebesar 0,3596 (Prob > F lebih besar dari 0,05), sehingga model dinyatakan tidak signifikan. Nilai *Linear Mixture* sebesar 0,5317, dan nilai interaksi AB sebesar 0,5743, AC sebesar 0,5235, dan BC sebesar 0,4881 dinyatakan tidak signifikan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi proporsi natrium kaseinat, monodigliserida, dan stevia pada rentang yang diuji belum memberikan pengaruh nyata terhadap *aftertaste* secara statistik. Nilai *lack of fit* lebih besar dari 0,05 yaitu sebesar 0,7912 yang menunjukkan bahwa *lack of fit* tidak signifikan yang

berarti terdapat kesesuaian yang baik antara model dengan data hasil analisis respon rasa.

Nilai R^2 sebesar 0,4443 menunjukkan bahwa model menjelaskan 44,43% variasi respon. Nilai *adjusted* R^2 sebesar 0,0970 menunjukkan bahwa setelah mempertimbangkan jumlah suku model, kemampuan penjelasan model menjadi rendah. Nilai *predicted* R^2 sebesar -0,7587 menunjukkan bahwa kemampuan prediksi model sangat terbatas. Nilai *adeq precision* sebesar 3,3029 (< 4) menunjukkan bahwa rasio *signal-to-noise* model belum memadai untuk digunakan dalam mengevaluasi *design space*. Oleh karena itu, model *aftertaste* tidak tepat digunakan sebagai dasar untuk memprediksi formulasi baru.

Persamaan model dalam bentuk komponen aktual yang dihasilkan adalah $Aftertaste = 0,76A - 1,99B - 503,80C + 0,76AB + 302,29AC + 329,93BC$. Nilai koefisien C (Stevia) yang sangat besar dan bertanda negatif dipengaruhi oleh rentang konsentrasinya yang relatif sempit, yaitu 0,07-0,1% sehingga tidak dapat langsung diartikan sebagai besarnya pengaruh stevia terhadap *aftertaste*. Interaksi AC dan BC yang bernilai positif menunjukkan adanya kecenderungan perubahan *aftertaste* akibat kombinasi stevia dengan natrium kaseinat maupun monodigliserida dalam model. Namun, karena kemampuan model secara keseluruhan terbatas, kecenderungan tersebut tidak dapat digunakan sebagai dasar untuk menyatakan pengaruh nyata komponen terhadap *aftertaste*.



Gambar 16. Grafik 3D *Surface Respon Aftertaste*

Grafik 3D *Surface* menunjukkan permukaan *aftertaste* yang relatif landai dengan variasi respons pada kisaran 2,57-3,00. Permukaan tidak menunjukkan pola peningkatan yang konsisten terhadap satu komponen. Karena model tidak signifikan dan *predicted R²* negatif, permukaan tersebut hanya digunakan sebagai gambaran deskriptif pola respons pada *design space*.

Secara sensoris, *aftertaste* dapat berkaitan dengan karakter *steviol glikosida* yang digunakan. Tian dkk. (2022) menunjukkan bahwa jenis *steviol glikosida* memiliki karakter temporal rasa manis dan pahit yang berbeda, termasuk perbedaan durasi *aftertaste*. Muenprasitivej dkk. (2022) juga melaporkan bahwa karakter *aftertaste* merupakan salah satu tantangan penggunaan *stevia* sebagai pemanis. Namun, pada penelitian ini jenis dan komposisi spesifik *steviol glikosida* tidak dianalisis, sehingga hubungan tersebut hanya dapat digunakan sebagai penjelasan pendukung.

4.3 Penentuan Formulasi Optimal

4.3.1 Penetapan Goal dan Importance

Penetapan *Goals* dan *importance* dilakukan pada setiap variabel berubah dan respon sebagai dasar dalam menentukan tujuan optimasi formulasi susu nabati sachta inchi. *Goals* ditetapkan berdasarkan arah optimasi yang diharapkan pada masing-masing variabel dan respon, yaitu *in range* dan *maximize*. Sementara itu, *importance* menunjukkan tingkat formula optimal, dengan pembobotan mulai dari (+) hingga (+++++). Semakin tinggi tingkat *importance*, semakin besar prioritas parameter tersebut dalam proses optimasi. Nilai *Desirability* yang tinggi pada formulasi paling optimal akan sulit dicapai apabila nilai *importance* yang dipilih terlalu besar (Taufik, 2017). Penetapan *goal* dan *importance* pada penelitian susu nabati sachta inchi dapat dilihat pada Tabel 26.

Tabel 26. Penetapan *Goal* dan *Importance* Susu Nabati Sachta Inchi

Variabel/Respon	Goal	Batas Bawah	Batas Atas	Importance
Natrium kaseinat	<i>In range</i>	0,9	1,5	+++
Monodigliserida	<i>In range</i>	0,2	0,8	+++
Stevia	<i>Maximize</i>	0,07	0,1	+++++
Stabilitas emulsi	<i>Maximize</i>	82,98	91,52	+++
Viskositas	<i>In range</i>	3,22	4,20	+++
Kadar protein	<i>Maximize</i>	3,39	4,09	+++++
Kadar lemak	<i>Maximize</i>	5,61	6,19	+++++
Kadar karbohidrat	<i>Maximize</i>	0,76	1,2	+++
Warna	<i>In range</i>	4,27	4,73	+++
Aroma	<i>Maximize</i>	3,20	3,73	+++++
Rasa	<i>Maximize</i>	2,87	3,63	+++++
<i>Aftertaste</i>	<i>In range</i>	2,57	3,00	+++

Variabel berubah natrium kaseinat dioptimalkan dengan *goal in range* pada rentang 0,9-1,5% dan tingkat *importance* 3 (+++). Natrium kaseinat digunakan sebagai komponen pengemulsi yang dapat membantu membentuk dan

mempertahankan sistem emulsi susu nabati sachet inchi. Konsentrasi natrium kaseinat tidak ditetapkan untuk dimaksimalkan karena peningkatan konsentrasi protein tidak selalu menghasilkan peningkatan stabilitas emulsi secara terus-menerus. Selain itu, penggunaan dalam jumlah terlalu tinggi berpotensi memengaruhi karakteristik fisik dan sensori produk. Oleh karena itu, optimasi diarahkan untuk memperoleh konsentrasi natrium kaseinat pada rentang yang mampu mendukung karakteristik produk tanpa mengabaikan penerimaan sensori.

Variabel berubah monodigliserida dioptimalkan dengan *goal in range* pada rentang 0,2-0,8% dan tingkat *importance* 3 (+++). Monodigliserida berfungsi sebagai emulsifier yang membantu menstabilkan sistem emulsi minyak dalam air pada susu nabati sachet inchi. Penggunaan monodigliserida perlu dikendalikan karena konsentrasi yang berbeda dapat memengaruhi ukuran dan distribusi droplet serta karakteristik fisik produk. Oleh karena itu, rentang 0,2-0,8% digunakan untuk memperoleh proporsi monodigliserida yang sesuai dalam mendukung kestabilan dan karakteristik fisik susu nabati.

Variabel berubah stevia dioptimalkan dengan dengan *goal maximize* pada rentang 0,07-0,10% dan tingkat *importance* 5 (+++++). Stevia ditetapkan *maximize* karena berperan sebagai pemanis alami intensitas tinggi yang menjadi sumber rasa manis utama pada produk, mengingat susu nabati sachet inchi tidak menggunakan pemanis sukrosa. Stevia memberikan kontribusi deskriptif positif terbesar terhadap respon rasa dibandingkan komponen lain, sehingga dimaksimalkan sebagai atribut fungsional produk berpemanis alami rendah kalori dan diberi bobot *importance* tertinggi karena perannya yang menentukan penerimaan rasa secara keseluruhan.

Respon stabilitas emulsi dioptimalkan dengan *goal maximize* pada rentang 82,98-91,52% dan tingkat *importance* 3 (+++). Stabilitas emulsi yang tinggi menunjukkan kemampuan produk mempertahankan dispersi minyak dan air sehingga pemisahan fase dapat diminimalkan selama penyimpanan, sehingga respon ini dimaksimalkan.

Respon viskositas dioptimalkan dengan *goal in range* pada rentang 3,22-4,20 cP dan tingkat *importance* 3 (+++). Viskositas dikontrol *in-range* karena berkaitan dengan *mouthfeel* dan karakteristik aliran produk minuman susu nabati yang perlu berada pada kekentalan yang wajar, tidak terlalu encer maupun terlalu kental. Importansi moderat diberikan karena viskositas bukan merupakan atribut fungsional utama yang menjadi diferensiasi produk.

Respon kadar protein dioptimalkan dengan *goal maximize* pada rentang 3,39-4,09% dan tingkat *importance* 5 (+++++). Kadar protein ditargetkan maksimal karena merupakan nilai jual utama produk sebagai susu nabati fungsional, dengan natrium kaseinat sebagai sumber protein tambahan. Seluruh formula pada penelitian ini telah melampaui syarat minimum SNI 01-3830-1995 tentang susu kedelai, yaitu 2,00% (Badan Standardisasi Nasional, 1995), namun optimasi tetap diarahkan untuk memperoleh kadar protein setinggi mungkin sebagai identitas fungsional produk sehingga diberi bobot *importance* tertinggi

Respon kadar lemak dioptimalkan dengan *goal maximize* pada rentang 5,61-6,19% dan tingkat *importance* 5 (+++++). Lemak pada produk berasal dari minyak alami biji sacha inchi yang secara intrinsik kaya asam lemak dan berkontribusi

terhadap tekstur *creamy* serta *mouthfeel* produk (Winarno, 1992). Kadar lemak dimaksimalkan karena merupakan atribut gizi khas bahan baku sachet inchi, dan seluruh formula telah memenuhi syarat minimum SNI 01-3830-1995 sebesar 1,00% (Badan Standardisasi Nasional, 1995), sehingga optimasi diarahkan memperoleh kadar lemak setinggi mungkin selama masih berada pada rentang yang diuji.

Respon kadar karbohidrat dioptimalkan dengan *goal maximize* pada rentang 0,76-1,20% dan tingkat *importance* 3 (+++). Karbohidrat dimaksimalkan sebagai kontribusi terhadap nilai energi produk. Importansi moderat diberikan karena kadar karbohidrat dihitung secara *by different* sehingga perubahannya merupakan resultan dari perubahan komponen lain dan tidak dapat dikaitkan secara langsung dengan satu komponen formulasi tertentu.

Respon warna dioptimalkan dengan *goal in range* pada rentang 4,27-4,73 dan tingkat *importance* 3 (+++). Warna dikontrol *in-range* untuk menjaga penampakan produk pada kisaran yang dapat diterima panelis. Importansi moderat diberikan karena hasil ANOVA menunjukkan model warna tidak signifikan secara statistik ($p = 0,4145$), sehingga variasi proporsi natrium kaseinat, monodigliserida, dan stevia pada rentang yang diuji belum terbukti memengaruhi warna produk secara nyata.

Respon aroma dioptimalkan dengan *goal maximize* pada rentang 3,20-3,73 dan tingkat *importance* 5 (++++). Aroma atribut sensori pertama yang dinilai konsumen sebelum atribut lain, dengan karakter dasar aroma khas kacang (*nutty*) dari sachet inchi. Aroma dimaksimalkan dan diberi bobot *importance* tertinggi

karena berperan penting dalam penerimaan awal produk, meskipun model yang dihasilkan (*special quartic*) melibatkan banyak suku interaksi yang kompleks

Respon rasa dioptimalkan dengan *goal maximize* pada rentang 2,87-3,63 dan tingkat *importance* 5 (+++++). Rasa merupakan penentu utama penerimaan akhir konsumen terhadap produk pangan, terutama dipengaruhi oleh kontribusi rasa manis dari stevia sebagai pemanis alami. Rasa dimaksimalkan dengan bobot *importance* tertinggi karena menjadi faktor akhir yang menentukan keputusan konsumen untuk mengonsumsi kembali produk.

Respon *aftertaste* dioptimalkan dengan *goal in range* pada rentang 2,57-3,00 dan tingkat *importance* 3 (+++). *Aftertaste* menunjukkan sensasi rasa yang masih tertinggal setelah produk dikonsumsi dan dapat dipengaruhi oleh karakteristik pemanis, bahan baku, serta interaksi antarkomponen formulasi. Respon ini ditetapkan *in range* karena *aftertaste* tidak diarahkan untuk memperoleh nilai setinggi mungkin secara mutlak, tetapi untuk mendapatkan tingkat penerimaan yang sesuai dengan karakteristik produk.

4.3.2 Penentuan Formulasi Optimal

Design Expert merekomendasikan formulasi optimal berdasarkan hasil analisis respon fisik (stabilitas emulsi dan viskositas), respon kimia (kadar protein, kadar lemak, dan kadar karbohidrat), dan respon organoleptik (warna, aroma, rasa, dan *aftertaste*). Proses optimasi dipilih berdasarkan nilai *desirability* tertinggi dari tujuh solusi (*solution 1 of 7*) yang dihasilkan oleh program, dengan solusi pertama sebagai solusi terpilih.

Nilai *desirability* merupakan nilai fungsi yang menunjukkan sejauh mana hasil *software* dapat mendekati titik optimum, dengan kisaran antara 0 hingga 1. Titik optimum yang baik memiliki nilai *desirability* yang mendekati 1 (Hidayat dkk., 2021), sedangkan nilai *desirability* yang mendekati 0 menandakan formulasi produk tersebut tidak dapat mencapai titik optimal berdasarkan variabel responnya (Wulandari, 2016). Formulasi optimal terpilih pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 27.

Tabel 27. Solusi Formulasi Terpilih

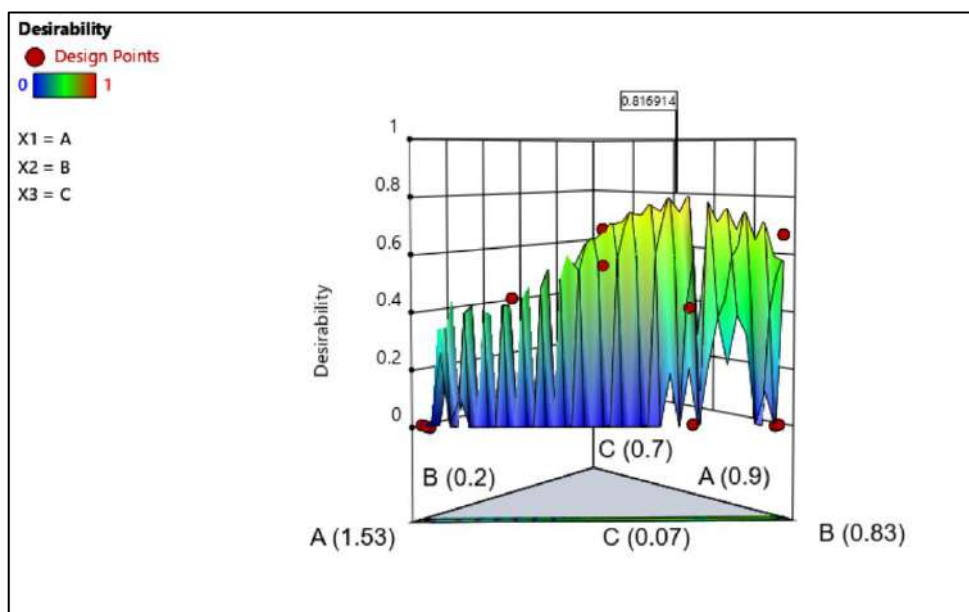
Stabilitas Emulsi (%)	Viskositas (cP)	Kadar Protein (%)	Kadar Lemak (%)	Kadar Karbohidrat (%)	Warna	Aroma	Rasa	After taste	<i>Desirability</i>
89,370	3,683	3,715	6,248	1,121	4,524	3,730	3,496	2,824	0,817

Tabel 28. Rekomendasi Formulasi Optimal Produk

Natrium kaseinat (%)	Monodigliserida (%)	Stevia (%)
1,07826	0,621744	0,1

Tabel 29. Hasil *Point Prediction* pada Produk Susu Nabati Sacha Inchi

Respon	Predicted Mean	Predicted Median	Std Dev	SE Pred	95% PI Low	Data Mean	95% PI High
Stabilitas Emulsi (%)	89,37	89,37	1,59	1,91	84,97	90,96	93,77
Viskositas (cP)	3,68	3,68	0,14	0,15	3,36	3,99	4,01
Protein (%)	3,71	3,71	0,07	0,08	3,55	3,57	3,88
Lemak (%)	6,25	6,25	0,11	0,13	5,94	6,00	6,55
Karbohidrat (%)	1,12	1,12	0,03	0,04	1,00	1,07	1,24
Warna	4,52	4,52	0,13	0,19	4,01	4,80	5,04
Aroma	3,73	3,73	0,07	0,11	3,44	3,47	4,02
Rasa	3,50	3,50	0,21	0,22	3,00	3,67	3,99
<i>Aftertaste</i>	2,82	2,82	0,15	0,18	2,40	3,17	3,24



Gambar 17. Grafik *Surface Desirability* Formula Optimal Produk

Berdasarkan grafik 3D *Surface desirability* pada Gambar 17, diperoleh nilai *desirability* pada formulasi optimal sebesar 0,817. Nilai tersebut tergolong tinggi dan mendekati 1 (Hidayat dkk., 2021). Formulasi optimal terpilih memiliki komposisi natrium kaseinat 1,07826%, monodigliserida 0,621744%, dan stevia 0,1%. Hasil formulasi ini diprediksi menghasilkan stabilitas emulsi 89,37%, viskositas 3,68 cP, kadar protein 3,71%, kadar lemak 6,25%, kadar karbohidrat 1,12%, warna 4,52, aroma 3,73, rasa 3,50, dan *aftertaste* 2,82.

Tabel *Point Prediction* pada Tabel 29 digunakan untuk keperluan verifikasi respon formulasi optimal, yaitu dengan membandingkan hasil respon aktual formulasi optimal terhadap nilai *Prediction Interval* (PI) yang dihasilkan oleh *Design Expert*.

4.4 Verifikasi Formulasi Optimal

Formulasi optimal yang dihasilkan oleh *Design Expert* dianalisis kembali berdasarkan respon fisik (stabilitas emulsi dan viskositas), respon kimia (respon kimia (kadar protein, lemak, dan karbohidrat), serta respon organoleptik (warna, aroma, rasa, dan *aftertaste*). Tujuan tahap verifikasi adalah untuk mengetahui nilai aktual dari formulasi optimal hasil pembuatan ulang dan membandingkannya dengan nilai prediksi yang dihasilkan oleh *Design Expert*.

Menurut Hidayat dkk. (2021), *software Design Expert* akan menghasilkan *confidence interval* (CI) dan *Prediction Interval* (PI) untuk setiap nilai prediksi respon pada taraf signifikansi 5,00%. CI merupakan *standard error of the mean* yang membantu mengatasi kesalahan acak pada data yang digunakan; semakin banyak data yang digunakan, semakin kecil kesalahan acak dan rentang yang dihasilkan. Jika pengambilan sampel diulang tanpa batas, CI 95,00% yang dibangun akan berisi rata-rata populasi yang sebenarnya.

Menurut Engelen (2016), PI merupakan rentang yang menunjukkan ekspektasi hasil pengukuran respon berikutnya pada kondisi yang sama. Jika pengambilan sampel diulang tanpa batas, PI 95,00% yang dibangun akan berisi pengamatan baru. Rentang nilai CI akan lebih kecil dibandingkan rentang nilai PI karena PI melibatkan variasi sampel yang tidak diketahui pada gambaran hasil sampel produk akhir. Oleh karena itu, verifikasi formulasi optimal pada penelitian ini dilakukan dengan membandingkan nilai aktual terhadap rentang PI 95,00% sebagai acuan ketepatan respon.

Tabel 30. Hasil Verifikasi Formulasi Optimal Produk

Respon	Prediksi	Aktual	Std. Dev	95,00% PI Low	95,00% PI High
Stabilitas Emulsi (%)	89,37	90,96	1,59	84,97	93,77
Viskositas (cP)	3,68	3,99	0,14	3,36	4,01
Protein (%)	3,71	3,57	0,07	3,55	3,88
Lemak (%)	6,25	6,00	0,11	5,94	6,55
Karbohidrat (%)	1,12	1,07	0,03	1,00	1,24
Warna	4,52	4,80	0,13	4,01	5,04
Aroma	3,73	3,47	0,07	3,44	4,02
Rasa	3,50	3,67	0,21	3,00	3,99
<i>Aftertaste</i>	2,82	3,17	0,15	2,40	3,24

Berdasarkan hasil analisis verifikasi pada Tabel 30, seluruh nilai aktual hasil pembuatan ulang formulasi optimal, yaitu stabilitas emulsi 90,96%, viskositas 3,99 cP, kadar protein 3,57%, kadar lemak 6,00%, kadar karbohidrat 1,07%, warna 4,80, aroma 3,47, rasa 3,67, dan *aftertaste* 3,17, berada di dalam rentang 95,00% *Prediction Interval* (PI) yang dihasilkan oleh *Design Expert* 13. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa hasil analisis aktual tidak berbeda jauh dari nilai prediksi program, sehingga model optimasi yang dihasilkan dapat dinyatakan valid untuk menggambarkan karakteristik formulasi optimal susu nabati *sacha inchi* pada rentang *design space* yang diteliti.

V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Design Expert metode *Mixture D-Optimal* menghasilkan formula optimal susu nabati sachet inchi dengan penambahan natrium kaseinat, monodigliserida, dan stevia dengan komposisi natrium kaseinat sebesar 1,07826%, monodigliserida sebesar 0,621744%, dan stevia sebesar 0,1%, serta nilai *desirability* sebesar 0,817. Hasil verifikasi formula optimal menunjukkan stabilitas emulsi 90,96%, viskositas 3,99 cP, kadar protein 3,57%, kadar lemak 6,00%, kadar karbohidrat 1,07%, warna 4,80 (suka), aroma 3,47 (agak tidak suka), rasa 3,67 (agak suka), dan *aftertaste* 3,17 (agak tidak suka). Seluruh nilai aktual hasil verifikasi berada dalam rentang *Prediction Interval* 95,00%, sehingga hasil verifikasi menunjukkan bahwa model optimasi dapat digunakan untuk memprediksi karakteristik susu nabati sachet inchi pada rentang *design space* yang diteliti.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan uji stabilitas produk selama penyimpanan (*shelf-life*) pada berbagai kondisi suhu untuk mengetahui perubahan karakteristik produk selama masa simpan.
2. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan pengembangan formulasi untuk meningkatkan penerimaan atribut aroma, rasa, dan *aftertaste* yang masih belum optimal pada formula hasil optimasi.

3. Penelitian selanjutnya disarankan menerapkan proses deodorisasi pada bahan baku sachet inchi untuk mengurangi aroma khas *beany* dan meningkatkan penerimaan aroma produk. Perlakuan yang dapat dikaji antara lain:
 - a. Penyangraian ringan biji (sekitar 120-150 °C selama 10-20 menit) untuk mengurangi senyawa volatil penyebab *beany*, sekaligus memunculkan aroma *nutty*.
 - b. Perendaman biji dalam larutan natrium bikarbonat (sekitar 0,25-0,5%) sebelum penggilingan.
 - c. Deaerasi vakum pada susu setelah pemanasan untuk menghilangkan senyawa volatil penyebab bau.
4. Penelitian selanjutnya disarankan mengoptimalkan proses homogenisasi dengan memvariasikan tekanan, suhu, dan jumlah siklus homogenisasi atau menggunakan *high-pressure homogenizer* untuk memperoleh ukuran droplet yang lebih seragam sehingga dapat meningkatkan kestabilan emulsi dan karakteristik fisik susu nabati sachet inchi.

DAFTAR PUSTAKA

- AbdullaH, Z., Taip, F. S., Kamal, S. M. M., Rahman, R. Z. A. 2021. ***The effect of drying temperature and sodium caseinate concentration on the functional and physical properties of spray dried coconut milk.*** *J Food Sci Technol*, 58(8), 3174-3182
- Akbari, S., dan Nour, A. H. 2018. ***Emulsion Types, Stability Mechanisms and Rheology: A review.*** *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 1(1), 11-17
- Ariyanto, R., dan Kartika, A. G. D. 2022. **Pengaruh Perbedaan Metode Pembuatan Garam Sehat Rendah Natrium Terhadap Kadar NaCl , Air Dan Sodium.** *Juvenil*, 3(1)
- Badan Standardisasi Nasional. 1995. **SNI 01-3830-1995: Susu kedelai.** Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2024. **SNI 3556:2024 Garam Konsumsi Beryodium.** Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Cárdenas, D. M., Rave, L. J. G., dan Soto, J. A. 2021. ***Biological Activity of Sacha Inchi (Plukenetia volubilis Linneo) and Potential Uses in Human Health: A Review.*** *Food Technology & Biotechnology*, 59(3), 253-266
- Chandra, R., Purwanti, D.A., Sebastian, S., Pranata, S.E., dan Handoko, I. 2022. ***Factors Influencing Consumer Intention to Purchase Plant-Based Milk in Indonesia: An Exploratory Research.*** *The International Journal of Applied Business*, 6(2), 145-164
- Cornell, J. A. 2002. ***Experiments with Mixtures: Designs, Models, and the Analysis of Mixture Data*** (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Del-Castillo, A. M. R., Gonzalez-Aspajo, G., Sánchez-Márquez, M. F., dan Kodahl, N. 2019. ***Ethnobotanical knowledge in the Peruvian Amazon of the neglected and underutilized crop sacha inchi (Plukenetia volubilis L.).*** *Economic Botany*, 73(2), 281-287.
- Deviartha, G. A. K., Antarini, A. A. N., dan Tamam, B. 2023. **Pengaruh Konsentrasi Garam Dapur (NaCl) Terhadap Karakteristik Urutan Ayam (Sosis Terfermentasi).** *Jurnal Ilmu Gizi: Journal of Nutrition Science*, 12(3)
- Dickinson, E. 2001. ***Milk protein adsorbed layers and the relationship to emulsion stability and rheology.*** *Studies in Surface Science and Catalysis* 132

- Doxastakis, G., dan Sherman, P. 1984. *The interaction of sodium caseinate with monoglyceride and diglyceride at the oil-water interface in corn oil-in-water emulsions and its effect on emulsion stability*. *Colloid & Polymer Science*, 262(11)
- Engelen, A., Sugiyono., dan Budijanto, S. 2016. **Optimasi Proses dan Formula Pada Pengolahan Mi Sagu Kering (*Metroxylon sagu*)**. *Agritech*, 35(4): 359-367.
- Gharsallaoui, A., Liao, W., Dumas, E., dan Elaïssari, A. 2022. *Understanding of the key factors influencing the properties of emulsions stabilized by sodium caseinate*. *Food Hydrocolloids*, 131, 107799.
- Gutiérrez, L. F., Rosada, L. M., dan Jiménez, Á. 2011. *Chemical Composition of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Seeds and Characteristics of Their Lipid Fraction*. *Grasas y Aceites*, 62 (1), 76-83
- Hegar, B., dan Widodo, A. 2015. *Lactose intolerance in Indonesian children*. *Asia Pac J Clin Nutr*, 24(1)
- Hidayat, I. R., Zuhrotun, A., dan Sopyan, I. 2021. **Design-expert Software sebagai Alat Optimasi Formulasi Sediaan Farmasi**. *Majalah Farmasetika*, 6(1), 99–120.
- Hu, Q., Huang, L., Wang, J., Huangfu, J., Cai, Y., Liu, T., Zhao, M., dan Zhao, Q. 2024. *Characterization of sodium caseinate derived from various sources: Unraveling the relationship between structure and functional properties*. *Food Bioscience* 61
- Jadhav, H., Waghmare, J., dan Annapure, U. 2021. *Effect of mono and diglyceride of medium chain fatty acid on the stability of flavour emulsion*. *Food Research*, 5(2), 214-220
- Karouw, S., dan Santosa, B. 2018. **Stabilitas Santan Kelapa pada Variasi Penambahan Emulsifier Natrium Kaseinat**. *Buletin Palma* Volume, 19(1), 27-32
- Kartika. 1998. **Pedoman Uji Inderawi Bahan Pangan**. Yogyakarta: UGM
- Kasim, N. M., Ischak, N. I., Salimi, Y. K., Bialangi, N., Aman, L. O., dan Mohamad, E. 2025. **Uji Organoleptik & Karakteristik Fisikokimia Serta Aktivitas Antioksidan Produk Susu Berbasis Kacang Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.)**. *Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 3(1), 112-130

- Kasti, A.N., Nikolaki, M.D., Petsis, K., Synodinou, K.D., Katsas, K.N., Lambrinou, S., Pyrousis, I.A., dan Triantafyllou, K. 2022. ***The Effects of Stevia Consumption on Gut Bacteria: Friend or Foe***. *Microorganisms*, 10, 744
- Kefi Amtiran, C. P., Alahmad, A. O., Notodiputro, K. A., Mualifah, L. N. A., dan Indahwati, I. 2025. ***National milk production dynamics: Interactions among dairy cattle population, milk imports and exports in Indonesia 2020–2024***. *Jurnal Ilmiah Peternakan Terpadu*, 13(3), 789-801.
- Kodahl, N., dan Sørensen, M. 2021. ***Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) Is an Underutilized Crop with a Great Potential***. *Agronomy*, 11, 1066.
- Lapčíková, B., Valenta, T., dan Chvatíková, M. 2024. ***Plant-Based Emulsions as Dairy Cream Alternatives: Comparison of Viscoelastic Properties and Colloidal Stability of Various Model Products***. *Foods*, 13, 1225
- Liao, W., Gharsallaoui, A., Dumas, E., dan Elaissari, A. 2022. ***Understanding of the key factors influencing the properties of emulsions stabilized by sodium caseinate***. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21, 5291-5317.
- Lim, Hyun-San., dan Baik, Moo-Yeol. 2025. ***Emulsifiers for the plant-based milk alternatives: a review***. *Food Science and Biotechnology*, 34(5), 515-525
- Loi, C. C., Eyres, G. T., dan Birch, E. J. (2019). ***Effect of mono- and diglycerides on physical properties and stability of a protein-stabilised oil-in-water emulsion***. *Journal of Food Engineering*, 240, 56-64.
- Makeri, M., Amaechi, N.A., Abdulrahman, A.U., Ngadi, K.J., Usman, M.A., Aliyu, F.A., Yusuf, D.H., Muhammad, A.T., Abubakar, N., Abdulkadir, M.F., Zaruwa, M.Z. 2019. ***Functional properties of proteins from legumes and oil seeds: A review***. *Journal of Food Research*, 8(6), 68-80
- Mao, L., O'Kennedy, B. T., Roos, Y. H., Hannon, J. A., dan Miao, S. 2012. ***Effect of monoglyceride self-assembled structure on emulsion properties and subsequent flavor release***. *Food Research International*, 48(1), 233-240
- Mhd Rodzi, N. A. R., dan Lee, L. K. 2022. ***Sacha Inchi (Plukenetia Volubilis L.): recent insight on phytochemistry, pharmacology, organoleptic, safety and toxicity perspectives***. *Heliyon* 8
- Muenprasitivej, N., Tao, R., Nardone, S. J., dan Cho, S. 2022. ***The Effect of Steviol Glycosides on Sensory Properties and Acceptability of Ice Cream***. *Foods*, 11

- Munekata, P.E.S., Domínguez, R., Budaraju, S., Roselló-Soto, E., Barba, F.J., Mallikarjunan, K., Roohinejad, S., dan Lorenzo, J.M. 2020. ***Effect of Innovative Food Processing Technologies on the Physicochemical and Nutritional Properties and Quality of Non-Dairy Plant-Based Beverages***. *Foods*, 9, 288
- Pontonio, E., Montemurro, M., dan Rizzello, C.G. (2020). ***Plant-based alternatives to cow's milk: Fermented, coagulated, and fortified products***. *Foods*, 9(11), 1546.
- Priyono, Nurmalina, R., Burhanuddin, dan Ilham, N. 2023. ***Impact of import restrictions policy on dairy supply and demand in Indonesia***. *Tropical Animal Science Journal*, 46(3), 375-381.
- Reale, A., Di Renzo, T., Russo, A., Niro, S., Ottombrino, A., dan Pellicano, M.P. 2019. ***Production of low-calorie apricot nectar sweetened with stevia: Impact on qualitative, sensory, and nutritional profiles***. *Food Science & Nutrition*, 8, 1837-1847.
- Rincon, L., Botelho, R. B. A., dan Alencar, E. R. 2020. ***Development of novel plant-based milk based on chickpea and coconut***. *Food Science and Technology* 128, 109479
- Ruiz, F.E.A., Jácome, J.F.O., Mora, J.R., Landázuri, A.C., Duchicela, P.V., Espinoza, J.V., Beltrán-Ayala, P., Andrade-Cuvi, M.J., dan Alvarez-Suarez, J.M. 2025. ***Comprehensive characterization and valorization potential of Amazonian Sacha inchi (Plukenetia volubilis L.) seeds, oil, and oilcake by-products for sustainable food applications***. *Nutrition and Food Science Technology*, 12
- Runthala, A., Mbye, M., Ayyash, M., Xu, Y., dan Kamal-Eldin, A. 2023. ***Caseins: Versatility of Their Micellar Organization in Relation to the Functional and Nutritional Properties of Milk***. *Molecules*, 28
- Salimi, Y. K., Bait, Y., Huruji, A., Isra, M., Amali, N., dan Baderan, U. M. 2025. ***Pengembangan Susu Sacha Inchi sebagai Minuman Fungsional Antioksidan melalui Pemberdayaan Masyarakat di Tabongo Timur***. *Jurnal Ilmu Kesehatan*, 224-236
- Salsabila, F. N., Widiarti, N., Windarti., Jayawardana., P. P., Listyorini, P. 2023. ***Analysis of Quality and Metal Contamination in Consumption of Iodized Salt to Guarantee the Quality of Salt Circulating in Society***. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 12(2)

- Sembiring, B. B., Mardiah., dan Fanani, M. Z. 2024. **Glikosida Steviol Sebagai Pemanis Rendah Kalori Berbasis Ekstrak Stevia**. Jurnal Ilmiah Pangan Halal, 6(2)
- Silsilia, D., Surawan, F. E., dan Meiriska, I. 2017. **Karakteristik Emulsifier Mono Dan Diasilgliserol (MDAG) dari Crude Palm Oil (CPO) yang Berasal dari Fat Pit Pada Berbagai Konsentrasi Katalis NaOH**. Jurnal Teknologi dan Industri Pertanian Indonesia, 9(2)
- Sudarmadji, S. B. Haryono dan Suhardi., 1989. **Analisa Bahan Makanan dan Pertanian**. Yogyakarta: Liberty Universitas Gadjah Mada. Hal. 119, 141-147.
- Sumartono, E. Mujiono., Moulina, M. A., Arif, H. M., Yulihartika, R. D., dan Suparti, Y. 2024. **Budidaya dan Pemanfaatan Kacang Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis Linneo*)**. Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat. 2774-2253.
- Tao, Ran., dan Cho, S. 2020. **Consumer-Based Sensory Characterization of Steviol Glycosides (Rebaudioside A, D, and M)**. *Foods*, 9, 1026
- Taufik, Y., Widiantera, T., dan Ulfah, S. 2017. **Optimalisasi Formulasi Minuman Jelly Lidah Buaya (*Aloe Vera L.*) dan Daun Black Mulberry (*Morus Nigra L.*) Menggunakan Design Expert Metode Mixture D Optimal**. *Pasundan Food Technology Journal*, Volume 4, No.3, Tahun 2017. Universitas Pasundan.
- Tian, X., Zhong, F., dan Xia, Y. 2022. **Dynamic characteristics of sweetness and bitterness and their correlation with chemical structures for six steviol glycosides**. *Food Research International*, 151
- Winarno, F. G. 1992. **Kimia Pangan dan Gizi**. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Wulandari, T. C., Ghozali, T., dan Taufik, Y. 2016. **Optimalisasi Formulasi Minuman Fungsional Black Mulberry (*Morus nigra L.*) Dengan Design Expert Metode Mixture D-Optimal**. *Pasundan Food Technology Journal*. Universitas Pasundan. Bandung.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Formulasi Pembuatan Susu Nabati Sacha Inchi

Tabel 31. Formulasi Pembuatan Susu Nabati Sacha Inchi

Run	Formulasi Bahan (%)					Jumlah (%)	
	Sari Inchi	Sacha	Garam	Natrium Kaseinat	Monodi gliserida		Stevia
1	98		0,2	1,5	0,23	0,07	100
2	98		0,2	1,2075	0,5075	0,085	100
3	98		0,2	1,5	0,215	0,085	100
4	98		0,2	0,9	0,8	0,1	100
5	98		0,2	1,06875	0,65375	0,0775	100
6	98		0,2	0,93	0,8	0,07	100
7	98		0,2	1,5	0,2	0,1	100
8	98		0,2	1,35375	0,35375	0,0925	100
9	98		0,2	0,93	0,8	0,07	100
10	98		0,2	1,5	0,23	0,07	100
11	98		0,2	0,9	0,8	0,1	100
12	98		0,2	1,05375	0,65375	0,0925	100
13	98		0,2	0,915	0,8	0,085	100
14	98		0,2	1,2	0,5	0,1	100

Lampiran 2. Analisis Viskositas (Makeri dkk., 2019)

Analisis viskositas dilakukan dengan menggunakan viskometer Brookfield. Sampel susu nabati sach a inchi sebanyak 150 mL dituangkan ke dalam gelas kimia dan dikondisikan pada suhu ruang. *Spindle* dipilih sesuai dengan kisaran viskositas sampel yakni 61, kemudian dipasang pada viskometer dan dicelupkan ke dalam sampel hingga batas tanda. Pengukuran dilakukan pada kecepatan putar tertentu (*rpm*) yakni 100 *rpm* dan *spindle* dibiarkan berputar selama 60 detik hingga nilai torsi stabil. Nilai viskositas yang terbaca pada layar viskometer dicatat dalam satuan *centipoise* (cP).

Viskositas (cP) = Pembacaan langsung pada *display* viskometer Brookfield

Keterangan :

cP = *centipoise* (satuan viskositas)

rpm = rotasi per menit (kecepatan putaran *spindle*)

Lampiran 3. Analisis Stabilitas Emulsi (Lapčíková, Valenta, dan Chvatíková, 2024)

Analisis stabilitas emulsi menggunakan *sentrifuge* konvensional yaitu sebanyak 10 mL sampel dimasukkan ke dalam tabung *sentrifuge*. Sampel disentrifugasi pada kecepatan 2.000 rpm selama 30 menit pada suhu ruang ($25 \pm 1^\circ\text{C}$). Setelah sentrifugasi selesai, volume fase yang terpisah (supernatan) diukur menggunakan gelas ukur. Stabilitas emulsi dinyatakan sebagai *Stability Index* (SI) dan dihitung menggunakan rumus:

$$\text{SI (\%)} = \left(1 - \frac{m_2 - m_3}{m_1}\right) \times 100$$

Keterangan :

m_1 = massa total sampel sebelum sentrifugasi (g)

m_2 = massa fase yang terpisah dan tabung setelah sentrifugasi (g)

m_3 = massa tabung kosong (g)

Semakin tinggi nilai SI mendekati 100%, semakin stabil emulsi yang terbentuk.

Lampiran 4. Analisis Kadar Protein Metode Formol (Sudarmadji dkk., 1989)

Analisis kadar protein dengan metode titrasi formol dilakukan berdasarkan prinsip netralisasi gugus amina bebas pada asam amino oleh formaldehid, sehingga hanya gugus karboksil yang bereaksi dengan basa saat titrasi. Sampel uji ditimbang sebanyak kurang lebih 2-5 gram, kemudian diencerkan dalam labu ukur 100 mL

dengan aquades hingga tanda tera dan dihomogenkan (larutan L1). Sebanyak 10 mL larutan L1 diambil dan dimasukkan ke dalam Erlenmeyer, kemudian ditambahkan 20 mL aquades, 0,4 mL kalium oksalat jenuh (1:3), dan 3-4 tetes indikator PP. Campuran tersebut dititrasikan menggunakan NaOH 0,1 N terstandarisasi hingga terjadi perubahan warna menjadi merah jambu muda, dan volume titrasi awal dicatat. Selanjutnya ditambahkan 2 mL formalin 40%, lalu dititrasikan kembali dengan NaOH 0,1 N yang sama hingga terjadi perubahan warna, dan volume titrasi akhir dicatat sebagai volume titrasi sampel (V_s). Prosedur yang sama diulangi untuk larutan blanko, dengan mengganti 10 mL larutan L1 menggunakan 10 mL aquades, dan volume titrasi blanko dicatat sebagai volume titrasi blanko (V_b).

Kadar nitrogen yang diperoleh dikalikan dengan faktor konversi 6,25 untuk mendapatkan kadar protein karena kandungan protein dapat dihitung dengan mengalikan total kandungan nitrogen sampel dengan faktor konversi protein, yaitu total nitrogen dikali 6,25

Kadar Nitrogen dan Protein dihitung dengan rumus:

$$\text{Kadar Nitrogen (\%)} = \frac{(V_s - V_b)(L) \times N \text{ NaOH} \times FP \times 14,007}{\text{bobot sampel (g)}} \times 100$$

$$\text{Kadar Protein (\%)} = \%N \times 6,25$$

Keterangan:

N NaOH = normalitas larutan NaOH (0,1 N)

14,007 = berat atom nitrogen

6,25 = faktor konversi protein

Lampiran 5. Analisis Kadar Lemak Metode Soxhlet (AOAC, 2005)

Analisis kadar lemak dilakukan dengan metode ekstraksi menggunakan pelarut organik (Soxhlet). Sampel susu nabati sachet terlebih dahulu dikeringkan untuk menghilangkan kadar air, kemudian ditimbang sebanyak 2-5 gram dan dibungkus menggunakan kertas saring (thimble). Sampel dimasukkan ke dalam alat ekstraksi Soxhlet yang dihubungkan dengan labu lemak yang telah diketahui bobot kosongnya, dan diisi dengan pelarut n-heksana. Ekstraksi dilakukan dengan pemanasan hingga pelarut menguap, terkondensasi, dan menetes berulang melalui sampel selama beberapa jam hingga proses ekstraksi sempurna (ditandai dengan pelarut yang menetes menjadi jernih). Selanjutnya, pelarut yang tersisa dalam labu diuapkan, dan labu lemak berisi ekstrak lemak dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C hingga bobot konstan, kemudian ditimbang karena penentuan kadar lemak pada dasarnya dilakukan dengan mengoksidasi senyawa organik pada suhu 105°C lalu menimbang bobot zat yang tersisa setelah proses tersebut.

$$\text{Kadar Lemak (\%)} = \frac{(\text{berat labu} + \text{lemak} - \text{berat labu kosong})}{\text{berat sampel}} \times 100$$

Lampiran 6. Analisis Kadar Air Metode Gravimetri (AOAC, 2005)

Analisis kadar air dilakukan dengan metode oven (gravimetri) berdasarkan prinsip penguapan air bebas dalam bahan melalui pemanasan hingga diperoleh bobot konstan. Cawan porselen kosong terlebih dahulu dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 30 menit, kemudian didinginkan dalam desikator selama 15 menit dan ditimbang hingga diperoleh bobot konstan (W1). Sampel ditimbang sebanyak 2-5 gram ke dalam cawan tersebut (W2). Cawan berisi sampel kemudian

dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 2 jam hingga bobot konstan. Setelah pengeringan, cawan didinginkan dalam desikator selama 15 menit untuk menghindari penyerapan uap air dari udara, kemudian ditimbang (W3). Tahap pengeringan dan penimbangan diulangi hingga diperoleh selisih bobot antar penimbangan kurang dari 0,2 mg (bobot konstan) karena kadar air ditentukan berdasarkan kehilangan bobot sampel akibat penguapan air selama pemanasan.

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{(W2 - W3)}{(W2 - W1)} \times 100$$

Keterangan :

W1 = bobot cawan kosong (g)

W2 = bobot cawan + sampel sebelum pengeringan (g)

W3 = bobot cawan + sampel setelah pengeringan (g)

Lampiran 7. Analisis Kadar Abu Metode Gravimetri (AOAC, 2005)

Analisis kadar abu dilakukan dengan metode pengabuan kering (*dry ashing*) menggunakan tanur pengabuan (*furnace*) berdasarkan prinsip oksidasi seluruh komponen organik pada suhu tinggi sehingga tersisa komponen anorganik (mineral) sebagai abu. Cawan porselen kosong terlebih dahulu dipijarkan dalam tanur pada suhu 550-600°C, kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang hingga bobot konstan (W1). Sampel ditimbang sebanyak 1-5 gram ke dalam cawan tersebut (W2), lalu diarsangkan terlebih dahulu di atas *hot plate* atau pembakar hingga tidak berasap. Selanjutnya cawan berisi sampel dimasukkan ke dalam tanur pengabuan dan diabukan pada suhu 550-600°C selama 4-6 jam hingga diperoleh

abu berwarna putih keabu-abuan dan bobot konstan. Cawan kemudian didinginkan dalam desikator selama 15 menit sebelum ditimbang (W3) karena kadar abu ditentukan berdasarkan bobot residu anorganik yang tersisa setelah seluruh bahan organik teroksidasi sempurna.

$$\text{Kadar Abu (\%)} = \frac{(W2-W1)}{\text{Berat Sampel (g)}} \times 100$$

Keterangan :

W1 = bobot cawan kosong (g)

W2 = bobot cawan + abu setelah pengabuan (g)

Lampiran 8. Analisis Kadar Karbohidrat Metode *By Difference* (AOAC, 2005)

Kadar karbohidrat dihitung secara tidak langsung berdasarkan selisih antara 100% dengan jumlah komponen proksimat lain yang telah dianalisis, yaitu kadar air, kadar abu, kadar protein, dan kadar lemak karena kadar karbohidrat diperoleh dari pengurangan 100% dengan kadar air, kadar abu, kadar protein, dan kadar lemak.

Kadar Karbohidrat (%) = 100% – (kadar air + kadar abu + kadar protein + kadar lemak)%

Lampiran 9. Prosedur Uji Organoleptik (Kartika dkk., 1998)

Panelis akan disajikan beberapa sampel sebanyak 25 gram secara satu persatu kemudian panelis diminta untuk menilai sampel tersebut berdasarkan kesenangan menurut skala nilai yang telah disediakan dengan mengisi pada lembar kuisioner.

Lampiran 10. Formulir Uji Organoleptik

Lampiran 11. Perhitungan Kebutuhan Sampel

Tabel 32. Perhitungan Kebutuhan Sampel

Analisis	Berat Sampel (gram)	Banyaknya	Jumlah (gram)
Uji Viskositas	150	15	2.250
Uji Stabilitas Emulsi	15	15	225
Uji Protein	5	15	75
Uji Lemak	7	15	105
Uji Karbohidrat	10	15	150
Uji Organoleptik	750	15	11.250
Total			14.250

Lampiran 12. Kebutuhan Bahan Penelitian

Tabel 33. Kebutuhan Bahan Penelitian

No	Nama Bahan	Harga	Keterangan	Jumlah	Total
1	Kacang Sacha Inchi	Rp. 80.000	Kg	4	Rp. 320.000
2	Air	Rp. 22.000	Liter	16	Rp. 30.000
3	Natrium Kaseinat	Rp. 175.000	gram	300	Rp. 525.000
4	Monodigliserida	Rp. 30.000	gram	250	Rp. 30.000
5	Stevia	Rp. 40.000	dus	1	Rp. 40.000
6	Garam	Rp. 5.000	bungkus	1	Rp. 5.000
Total					Rp. 950.000

Lampiran 13. Kebutuhan Analisis Penelitian

Tabel 34. Kebutuhan Analisis Penelitian

No	Analisis	Keterangan	Harga	Jumlah
1	Uji Stabilitas Emulsi	16 Sampel	Rp. 5.000	Rp. 80.000
2	Uji Viskositas	16 Sampel	Rp. 15.000	Rp. 240.000
3	Uji Protein	16 Sampel	Rp. 15.000	Rp. 240.000
4	Uji Lemak	16 Sampel	Rp. 35.000	Rp. 560.000
5	Uji Kadar Air	16 Sampel	Rp. 3.000	Rp. 48.000
6	Uji Kadar Abu	16 Sampel	Rp. 6.000	Rp. 96.000
7	Biaya masuk laboratorium	-	Rp. 250.000	Rp. 250.000
Total				Rp. 1.514.000

Lampiran 14. Hasil Analisis Respon Fisik Susu Nabati Sacha Inchi

1. Hasil Analisis Stabilitas Emulsi

Contoh perhitungan Formulasi 1:

$$SI (\%) = \left(1 - \frac{(7,787 - 6,231)}{9,142}\right) \times 100 = 82,98\%$$

Tabel 35. Hasil Analisis Respon Fisik Stabilitas Emulsi

RUN	Sampel (g)	Residu + Tabung (g)	Tabung Kosong (g)	Stabilitas Emulsi (%)
1	9,142	7,787	6,231	82,98
2	9,405	7,081	6,266	91,33
3	9,100	7,455	6,121	85,34
4	9,332	7,344	6,234	88,11
5	9,215	7,051	6,270	91,52
6	9,304	7,568	6,320	86,59
7	9,373	7,540	6,222	85,94
8	9,161	7,043	6,265	91,51
9	9,099	7,342	6,270	88,22
10	9,420	7,397	6,116	86,40
11	9,580	7,498	6,249	86,96
12	9,273	7,446	6,428	89,02
13	9,281	7,462	6,435	88,93
14	9,418	7,453	6,334	88,12

2. Hasil Analisis Viskositas

Tabel 36. Hasil Analisis Respon Fisik Viskositas

RUN	Viskositas (cP)	Kelayakan (%)
1	3,93	6,60
2	3,84	6,40
3	4,20	7,00
4	3,22	5,90
5	3,72	6,20
6	3,61	6,00
7	4,12	6,90
8	4,02	6,70
9	3,30	5,50
10	4,18	7,00
11	3,48	5,80
12	3,78	6,30
13	3,60	6,00
14	3,88	6,50

Lampiran 15. Hasil Analisis Respon Kimia Susu Nabati Sacha Inchi

1. Hasil Analisis Kadar Protein

Contoh Perhitungan Formula 1:

Diketahui :

Volume blanko = 1,5 mL

Faktor Pengenceran = $\frac{100}{10} = 10$

N NaOH = 0,0973

$$\text{Kadar Nitrogen (\%)} = \frac{(0,0025 - 0,0015)(L) \times 0,0973 \times 10 \times 14,007}{2,094} \times 100 = 0,65\%$$

$$\text{Kadar Protein (\%)} = 0,65\% \times 6,25 = 4,07\%$$

Tabel 37. Hasil Analisis Respon Kimia Kadar Protein

RUN	Sampel (g)	V Blanko (mL)	V Sampel (mL)	Kadar Nitrogen (%)	Kadar Protein (%)
1	2,094	1,5	2,5	0,65	4,07
2	2,053	1,5	2,4	0,60	3,73
3	2,082	1,5	2,5	0,65	4,09
4	2,098	1,5	2,4	0,58	3,65
5	2,075	1,5	2,4	0,59	3,69
6	2,012	1,5	2,3	0,54	3,39
7	2,086	1,5	2,5	0,65	4,08
8	2,002	1,5	2,4	0,61	3,83
9	2,162	1,5	2,4	0,57	3,55
10	2,088	1,5	2,5	0,65	4,08
11	2,172	1,5	2,4	0,56	3,53
12	2,087	1,5	2,4	0,59	3,67
13	2,176	1,5	2,4	0,56	3,52
14	2,193	1,5	2,5	0,62	3,88

2. Hasil Analisis Kadar Lemak

Contoh Perhitungan Formula 1:

$$\text{Kadar Lemak (\%)} = \frac{(140,449 - 140,071)}{6,508} \times 100 = 5,81\%$$

Tabel 38. Hasil Analisis Respon Kimia Kadar Lemak

Run	Sampel (g)	Labu Kosong (g)	Labu + Lemak (g)	Kadar Lemak (%)
1	6,508	140,071	140,449	5,81
2	6,169	151,093	151,466	6,05
3	6,136	151,149	151,493	5,61
4	6,150	107,281	107,654	6,07
5	6,224	107,640	108,011	5,96
6	6,255	107,380	107,766	6,17
7	6,229	140,082	140,439	5,73
8	6,295	140,845	141,226	6,05
9	6,253	140,244	140,628	6,14
10	6,181	151,180	151,553	6,03
11	6,125	151,227	151,598	6,06
12	6,210	107,520	107,891	5,97
13	7,082	151,320	151,718	5,62
14	6,140	140,432	140,812	6,19

3. Hasil Analisis Kadar Air:

Contoh Perhitungan Formula 1:

$$\text{Kadar Air} = \frac{(24,332 - 22,542)}{(24,332 - 22,315)} \times 100 = 88,75\%$$

Tabel 39. Hasil Analisis Kadar Air

RUN	Sampel (g)	Berat Cawan Kosong (g)	Berat Cawan + Sampel (g)	Berat Cawan + Sampel Konstan (g)	Kadar Air (%)
1	2,017	22,315	24,332	22,542	88,75
2	2,072	22,429	24,501	22,662	88,75
3	2,020	23,897	25,917	24,126	88,66
4	2,019	23,860	25,879	24,090	88,61
5	2,019	23,188	25,207	23,411	88,95
6	2,131	23,165	25,296	23,402	88,88
7	2,025	24,289	26,314	24,520	88,59
8	2,037	23,825	25,862	24,057	88,61
9	2,020	22,248	24,268	22,474	88,81
10	2,050	22,361	24,411	22,595	88,59
11	2,039	23,204	25,243	23,438	88,52
12	2,171	22,475	24,646	22,718	88,81
13	2,005	23,179	25,184	23,387	89,63
14	2,020	24,100	26,120	24,336	88,32

4. Hasil Analisis Kadar Abu:

Contoh Perhitungan Formula 1:

$$\text{Kadar Abu} = \frac{(26,087 - 26,081)}{1,029} \times 100 = 0,58\%$$

Tabel 40. Hasil Analisis Kadar Abu

RUN	Sampel (g)	Berat Cawan Kosong (g)	Berat Cawan + Abu (g)	Kadar Abu (%)
1	1,029	26,081	26,087	0,58
2	1,062	26,620	26,625	0,47
3	1,007	25,996	26,002	0,60
4	1,018	25,919	25,924	0,49
5	1,022	27,966	27,970	0,39
6	1,031	25,808	25,815	0,68
7	1,024	27,955	27,961	0,59
8	1,021	26,501	26,507	0,59
9	1,006	26,464	26,471	0,70
10	1,095	26,095	26,100	0,46
11	1,008	26,625	26,632	0,69
12	1,033	26,870	26,876	0,58
13	1,058	21,852	21,857	0,47
14	1,011	26,465	26,471	0,59

5. Hasil Analisis Kadar Karbohidrat:

Contoh Perhitungan Formula 1:

$$\text{Kadar Karbohidrat (\%)} = 100\% - (88,75 + 0,58 + 4,07 + 5,81) \% = 0,80\%$$

Tabel 41. Hasil Analisis Respon Kimia Kadar Karbohidrat

RUN	Total (%)	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Protein (%)	Kadar Lemak (%)	Kadar Karbohidrat (%)
1	100	88,75	0,58	4,07	5,81	0,80
2	100	88,75	0,47	3,73	6,05	0,99
3	100	88,66	0,60	4,09	5,61	1,04
4	100	88,61	0,49	3,65	6,07	1,18
5	100	88,95	0,39	3,69	5,96	1,00
6	100	88,88	0,68	3,39	6,17	0,88
7	100	88,59	0,59	4,08	5,73	1,01
8	100	88,61	0,59	3,83	6,05	0,92
9	100	88,81	0,70	3,55	6,14	0,81
10	100	88,59	0,46	4,08	6,03	0,84
11	100	88,52	0,69	3,53	6,06	1,20
12	100	88,81	0,58	3,67	5,97	0,96
13	100	89,63	0,47	3,52	5,62	0,76
14	100	88,32	0,59	3,88	6,19	1,02

Lampiran 16. Hasil Analisis Respon Organoleptik Susu Nabati Sacha Inchi

1. Hasil Uji Warna

Tabel 42. Hasil Analisis Respon Organoleptik Atribut Warna

Panelis	Sampel													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	6	5	5	5	6	6	5	6	6	6	6	5	6	6
2	3	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	3	3
3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
4	5	5	6	4	5	3	3	5	3	2	4	2	4	5
5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	4	5	5	5	5
6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
7	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	4
8	4	5	3	3	4	4	4	4	4	5	5	4	5	3
9	5	3	3	5	4	3	6	4	6	5	4	4	4	4
10	3	4	4	6	4	4	5	3	4	5	5	5	5	5
11	5	3	3	4	3	4	4	5	4	2	4	3	5	4
12	2	3	4	3	4	4	5	4	3	3	3	2	2	4
13	4	5	5	4	5	4	5	5	4	4	5	4	6	5
14	6	5	5	5	5	5	4	5	4	3	4	4	5	6
15	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
16	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
17	5	5	5	6	5	6	6	4	6	6	6	6	6	5
18	4	4	4	4	3	4	4	4	3	3	4	3	4	4
19	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
20	4	4	5	5	4	5	5	4	6	4	3	5	4	4
21	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
22	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	4	5
23	5	4	5	5	5	4	5	4	5	4	5	4	5	5
24	5	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5
25	4	4	4	4	4	4	5	3	4	3	4	3	5	4
26	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
27	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4
28	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6
29	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4
30	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Jumlah	138	135	137	139	138	135	142	136	139	128	139	128	141	140
Rata-Rata	4,60	4,50	4,57	4,63	4,60	4,50	4,73	4,53	4,63	4,27	4,63	4,27	4,70	4,67

2. Hasil Uji Aroma

Tabel 43. Hasil Analisis Respon Organoleptik Atribut Aroma

Panelis	Sampel													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2
2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	4	4	4	4	3	4	4	3	4	5	4	4	4	4
4	5	5	1	4	2	2	3	5	5	2	2	3	5	1
5	4	4	4	4	3	5	4	3	5	4	5	4	4	4
6	5	5	4	4	5	6	5	4	6	6	6	6	5	4
7	3	4	2	4	3	4	4	2	2	4	4	4	4	3
8	4	3	4	4	3	3	4	4	2	4	3	2	2	2
9	3	1	1	2	1	1	2	1	2	3	3	4	1	1
10	5	4	4	4	4	5	5	3	4	5	4	4	5	3
11	3	3	4	4	3	3	4	4	4	3	4	4	2	4
12	3	3	2	2	2	4	3	2	3	2	2	3	4	3
13	5	4	4	3	4	3	4	2	3	4	4	3	3	3
14	3	3	3	4	4	4	3	4	3	5	4	4	4	5
15	4	2	5	4	4	4	5	4	4	4	3	3	4	4
16	4	3	4	4	3	4	4	4	5	4	5	4	5	5
17	5	5	4	5	4	4	5	4	5	4	5	5	4	4
18	3	3	4	3	4	4	2	4	3	3	3	3	3	3
19	4	4	4	3	4	5	4	4	4	4	4	5	4	4
20	5	6	6	6	5	5	4	4	4	4	5	5	6	6
21	2	3	3	3	4	4	3	3	4	3	4	4	3	4
22	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
23	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3
24	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4
25	3	2	2	2	2	3	3	2	3	3	3	3	3	2
26	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
27	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
28	5	5	4	5	4	5	5	4	5	5	5	5	5	4
29	3	3	3	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3
30	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Jumlah	111	105	102	108	98	111	109	96	109	110	111	112	109	102
Rata-Rata	3,7	3,5	3,4	3,6	3,26667	3,7	3,63333	3,2	3,63333	3,66667	3,7	3,73333	3,63333	3,4

3. Hasil Uji Rasa

Tabel 44. Hasil Analisis Respon Organoleptik Atribut Rasa

Panelis	Sampel													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	2	2	2	3	2	3	2	2	3	2	3	2	3	2
2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	4	3	4	3
3	4	4	4	3	3	4	4	3	4	3	3	5	4	4
4	3	4	1	2	1	1	4	2	1	1	1	1	4	1
5	4	4	3	4	3	5	4	4	4	5	4	5	5	4
6	4	4	4	4	3	4	5	3	4	5	5	5	5	3
7	4	2	3	4	2	2	5	4	4	4	4	4	4	4
8	3	4	3	4	3	2	3	2	3	3	4	5	2	4
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	4	3	1	1
10	5	3	2	4	3	2	4	2	1	3	4	3	6	1
11	3	2	3	3	2	3	2	3	2	2	2	3	3	4
12	2	3	2	3	2	2	2	1	3	2	3	3	4	3
13	1	3	1	3	2	4	4	2	2	3	3	4	4	2
14	2	2	2	4	4	4	2	2	4	2	3	4	3	4
15	5	4	6	4	5	3	5	6	5	5	5	5	4	5
16	3	4	4	1	4	3	2	4	3	4	4	5	3	5
17	2	2	1	2	3	2	2	2	3	4	3	3	3	2
18	4	4	5	3	4	4	2	4	2	3	3	3	3	4
19	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	3	4
20	6	5	6	5	6	3	6	4	4	4	5	3	4	6
21	2	3	6	6	4	2	3	4	4	3	5	5	3	3
22	4	4	1	1	4	3	3	6	3	1	3	2	4	4
23	2	3	3	4	1	3	3	4	5	4	4	4	3	4
24	4	4	1	6	4	3	4	6	6	2	4	3	2	4
25	3	4	4	6	1	2	3	1	6	4	3	4	5	3
26	4	4	1	4	4	2	4	5	4	4	3	3	4	4
27	3	3	2	5	3	2	3	4	5	3	4	2	5	2
28	1	4	4	6	3	4	4	5	2	3	4	1	3	5
29	5	4	2	2	2	3	2	4	3	2	3	3	4	5
30	2	5	4	5	2	3	1	6	4	4	4	2	4	2
Jumlah	95	102	88	109	88	86	96	102	102	94	109	102	109	102
Rata-Rata	3,16667	3,4	2,93333	3,63333	2,93333	2,86667	3,2	3,4	3,4	3,13333	3,63333	3,4	3,63333	3,4

4. Hasil Uji *Aftertaste*

Tabel 45. Hasil Analisis Respon Organoleptik Atribut *Aftertaste*

Panelis	Sampel													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1
2	2	2	2	3	2	3	2	2	3	3	4	3	4	2
3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
4	3	3	1	1	1	2	4	2	1	1	1	1	4	1
5	4	3	4	4	4	5	4	4	5	5	4	5	5	4
6	2	2	2	2	2	3	2	2	3	4	3	4	2	2
7	4	3	3	4	3	3	4	4	3	4	4	3	4	3
8	3	5	2	3	3	2	2	2	3	2	3	3	3	4
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
10	5	4	2	3	3	4	4	1	1	2	3	4	5	3
11	3	4	2	3	2	2	1	4	2	2	3	3	3	3
12	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2	1
13	2	4	3	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3
14	2	2	2	3	3	2	2	2	2	1	3	3	2	3
15	5	3	6	4	3	3	4	5	4	5	4	4	3	4
16	3	3	4	1	5	3	2	5	3	3	4	5	3	5
17	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
18	4	4	5	3	4	4	2	4	2	3	3	3	3	4
19	3	2	2	2	2	2	4	2	4	5	3	4	2	2
20	6	5	5	5	6	3	5	4	4	3	3	3	3	6
21	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2
22	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
23	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2
24	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
25	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1
26	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
27	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
28	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
29	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2
30	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Jumlah	87	86	79	79	79	77	78	79	77	79	90	90	86	83
Rata-Rata	2,9	2,86667	2,63333	2,63333	2,63333	2,56667	2,6	2,63333	2,56667	2,63333	3	3	2,86667	2,76667

Lampiran 17. Dokumentasi Pembuatan dan Analisis Susu Nabati Sacha Inchi

Pembuatan Produk	
 Pencucian	 Perendaman
 Perebusan	 Penggilingan
 Penyaringan	 Pencampuran

 Pasteurisasi	 Pengemasan
Produk Susu Nabati Sacha Inchi	
	

Analisis Stabilitas Emulsi



Analisis Viskositas



Analisis Kadar Protein



Analisis Kadar Lemak



Analisis Kadar Air



Analisis Kadar Abu



Uji Organoleptik



Lampiran 18. Verifikasi Formula Optimal

1. Hasil Verifikasi Analisis Stabilitas Emulsi

Tabel 46. Hasil Verifikasi Analisis Stabilitas Emulsi

Ulangan	Sampel (g)	Residu + Tabung (g)	Tabung Kosong (g)	Stabilitas Emulsi (%)
1	10,103	7,838	6,887	90,59
2	10,012	7,877	7,010	91,34
RATA-RATA				90,96

2. Hasil Verifikasi Analisis Viskositas

Tabel 47. Hasil Verifikasi Analisis Viskositas

Ulangan	KELAYAKAN (%)	VISKOSITAS (cP)
1	6,50	3,90
2	6,80	4,08
RATA-RATA		3,99

3. Hasil Verifikasi Analisis Kadar Protein

Tabel 48. Hasil Verifikasi Analisis Kadar Protein

Ulangan	Sampel (g)	V Sampel (mL)	Kadar Nitrogen (%)	Kadar Protein (%)
1	2,030	2,3	0,54	3,36
2		2,4	0,60	3,78
RATA-RATA				3,57

4. Hasil Verifikasi Analisis Kadar Lemak

Tabel 49. Hasil Verifikasi Analisis Kadar Lemak

Ulangan	Sampel (g)	Berat Labu Kosong (g)	Berat Labu + Lemak (g)	Kadar Lemak (%)
1	6,461	140,073	140,461	6,01
2	6,148	140,547	140,915	5,99
RATA-RATA				6,00

5. Hasil Verifikasi Analisis Kadar Karbohidrat

Tabel 50. Hasil Verifikasi Analisis Kadar Air

Ulangan	Sampel (g)	Berat Cawan Kosong (g)	Berat Cawan + Sampel (g)	Berat Cawan Sampel Konstan	Kadar Air (%)
1	2,017	23,129	25,146	23,354	88,84
2	2,077	23,831	25,908	24,065	88,73

Tabel 51. Hasil Verifikasi Analisis Kadar Abu

Ulangan	Sampel (g)	Berat Cawan Kosong (g)	Berat Cawan + Abu (g)	Kadar Abu (%)
1	1,063	26,756	26,763	0,66
2	1,002	26,952	26,957	0,50

Tabel 52. Hasil Verifikasi Analisis Kadar Karbohidrat

Ulangan	Kadar Protein (%)	Kadar Lemak (%)	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Karbohidrat (%)
1	3,36	6,01	88,84	0,66	1,13
2	3,78	5,99	88,73	0,50	1,01
RATA-RATA					1,07

6. Hasil Verifikasi Uji Organoleptik

Tabel 53. Hasil Verifikasi Uji Organoleptik

Panelis	Atribut			
	Warna	Aroma	Rasa	<i>Aftertaste</i>
1	5	3	4	2
2	5	4	3	3
3	4	2	4	2
4	5	4	2	1
5	5	4	3	2
6	5	3	2	4
7	5	3	3	3
8	6	5	3	3
9	5	4	3	4
10	4	3	4	3
11	5	4	5	4
12	5	4	3	4
13	4	2	3	3
14	5	3	2	3
15	6	4	4	3
16	5	5	5	5
17	4	4	4	3
18	4	3	4	4
19	3	2	4	4
20	5	2	2	1
21	4	3	4	3
22	5	4	5	4
23	4	4	4	4
24	5	3	4	2
25	6	4	5	3
26	5	4	4	4
27	5	3	4	3
28	5	3	5	4
29	5	4	4	3
30	5	4	4	4
Jumlah	144	104	110	95
Rata-Rata	4,80	3,47	3,67	3,17