

**OPTIMASI FORMULASI MINUMAN PROTEIN BERBASIS
EDAMAME MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY* (RSM) METODE *BOX BEHNKEN DESIGN*
(BBD)**

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

Nindya Aulia Putri
22.302.0054



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

ABSTRAK

OPTIMASI FORMULASI MINUMAN PROTEIN BERBASIS EDAMAME MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY* (RSM) METODE *BOX BEHNKEN DESIGN* (BBD)

Oleh
Nindya Aulia Putri
NPM: 223020054
(Program Studi Teknologi Pangan)

Meningkatnya permintaan terhadap minuman berbasis nabati mendorong pengembangan produk yang memiliki kandungan protein tinggi, stabilitas fisik yang baik, dan dapat diterima konsumen. Edamame merupakan salah satu sumber protein nabati yang berpotensi dikembangkan menjadi minuman fungsional, namun masih menghadapi permasalahan terkait stabilitas fisik dan formulasi produk. Oleh karena itu, digunakan CMC sebagai bahan penstabil untuk meningkatkan viskositas dan stabilitas fisik melalui pembentukan sistem dispersi yang stabil, sedangkan lesitin sebagai emulsifier untuk membantu mempertahankan homogenitas sistem emulsi. Penelitian ini bertujuan memperoleh formulasi optimum minuman protein berbasis edamame menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) metode *Box Behnken Design* (BBD). Variabel bebas dalam penelitian ini meliputi sari edamame (65-75%), CMC (0,2-0,3%), dan lesitin (1-2%). Respon yang dianalisis mencakup respon kimia (kadar protein), respon fisik (viskositas dan stabilitas fisik), dan respon organoleptik (warna, aroma, dan rasa). Penelitian ini dilakukan menggunakan 15 kombinasi perlakuan yang dianalisis dengan perangkat lunak *Design Expert*. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, bahwa *Design Expert* dengan *Response Surface Methodology* (RSM) Metode *Box Behnken Design* (BBD) dapat menghasilkan formulasi optimal dengan nilai *desirability* sebesar 0,878.

Kata kunci: Edamame, Minuman Protein Nabati, Optimasi Formulasi, *Response Surface Methodology* (RSM), dan *Box Behnken Design* (BBD)

ABSTRACT

FORMULATION OPTIMIZATION OF EDAMAME-BASED PROTEIN BEVERAGE USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM) WITH THE BOX-BEHNKEN DESIGN (BBD) METHOD

by

Nindya Aulia Putri

NPM: 223020054

(Departement of Food Technology)

The increasing demand for plant-based beverages has encouraged the development of products with high protein content, good physical stability, and high consumer acceptance. Edamame is one of the plant-based protein sources with great potential for development into a functional beverage. However, edamame-based beverages still face challenges related to physical stability and product formulation. Therefore, carboxymethyl cellulose (CMC) was used as a stabilizer to improve viscosity and physical stability by forming a stable dispersion system, while lecithin was used as an emulsifier to maintain the homogeneity of the emulsion system. This study aimed to determine the optimum formulation of an edamame-based protein beverage using Response Surface Methodology (RSM) with the Box-Behnken Design (BBD) method. The independent variables consisted of edamame extract (65–75%), CMC (0,2–0,3%), and lecithin (1–2%). The responses analyzed included chemical response (protein content), physical responses (viscosity and physical stability), and sensory responses (color, aroma, and taste). The experiment was conducted using 15 treatment combinations and analyzed using Design Expert software. Based on the results, Design Expert using Response Surface Methodology (RSM) with the Box Behnken Design (BBD) method was able to obtain an optimum formulation with a desirability value of 0,878.

Keywords: Edamame, Plant-Based Protein Beverage, Formulation Optimization, Response Surface Methodology (RSM), and Box Behnken Design (BBD)

**OPTIMASI FORMULASI MINUMAN PROTEIN BERBASIS
EDAMAME MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY* (RSM) METODE *BOX BEHNKEN DESIGN*
(BBD)**

Oleh:

**Nindya Aulia Putri
NPM: 223020054
(Program Studi Teknologi Pangan)**

Fakultas Teknik
Universitas Pasundan

Menyetujui,

Tanggal *1 September 2026*

Pembimbing



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

**OPTIMASI FORMULASI MINUMAN PROTEIN BERBASIS
EDAMAME MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY* (RSM) METODE *BOX BEHNKEN DESIGN*
(BBD)**

Oleh:

**Nindya Aulia Putri
NPM: 223020054
(Program Studi Teknologi Pangan)**

Fakultas Teknik
Universitas Pasundan

Menyetujui,

Tanggal **1 September 2026**

Koordinator Belmawabud Program Studi Teknologi Pangan



Fakultas Teknik Universitas Pasundan

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

PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Fakultas dan Universitas, dan terbuka 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:

Putri, N. A. (2026). Optimasi Formulasi Minuman Protein Berbasis Edamame Menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) Metode *Box Behnken Design* (BBD), Tugas Akhir Program Sarjana, Universitas Pasundan.

Dan dalam bahasa Inggris sebagai berikut:

Putri, N. A. (2026). *Formulation Optimization of Edamame-Based Protein Beverage Using Response Surface Methodology (RSM) with The Box Behnken Design (BBD) Method, Bachelor's Thesis, Pasundan University.*

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

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT. yang telah memberikan petunjuk, rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul **“OPTIMASI FORMULASI MINUMAN PROTEIN BERBASIS EDAMAME MENGGUNAKAN METODE *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY* (RSM) METODE *BOX BEHNKEN DESIGN* (BBD)”**. Tidak lupa shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada nabi kita Nabi Muhammad SAW. hingga akhir zaman nanti.

Dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir, penulis menyadari laporan ini dapat terselesaikan dengan baik berkat bantuan dan dorongan semangat dari kedua orang tua, yaitu Asep Saepulsah dan Yani Yuniawati. Selain itu, penulis mendapatkan bimbingan dan pengarahan serta bantuan dari berbagai pihak dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Yusman Taufik, M.P., selaku pembimbing yang telah memberikan perhatian, bimbingan, dan pengarahan selama penulis melakukan penyusunan Laporan Tugas Akhir.
2. Dr. Tantan Widianara, S.T., M.T., selaku dosen penguji I yang telah memberikan saran dalam penyusunan laporan penelitian ini.
3. Prof. Dr. Ir. Wisnu Cahyadi, M.Si., selaku dosen penguji II yang telah memberikan saran dalam penyusunan laporan penelitian ini.
4. Jaka Rukmana, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan.

5. Rizal Maulana Ghaffar, S.T., M.T. selaku Koordinator Belmawabud Program Studi Teknologi Pangan Universitas Pasundan Bandung.
6. Rekan-rekan saya Deastri, Dhara, Nazmi, Putri Aulia, Siska, Kamiliya, dan Lovita yang telah memberikan semangat dan membantu penulis selama penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kata kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan dari semua pihak yang bersangkutan untuk penyempurnaan Laporan Tugas Akhir ini. Demikian Laporan Tugas Akhir yang penulis buat.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	5
1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian.....	6
1.4. Manfaat Penelitian	6
1.5. Kerangka Pemikiran.....	6
1.6. Hipotesis Penelitian.....	9
1.7. Tempat dan Waktu Penelitian	10
II. TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1. Edamame.....	11
2.1.1. Klasifikasi Edamame	12
2.1.2. Kandungan Edamame	13
2.1.3. Manfaat Edamame	14
2.2. Minuman Nabati	14
2.2.1. Karakteristik Minuman Nabati	16
2.2.2. Minuman Fungsional	16

2.3.	Bahan Tambahan Pangan.....	19
2.3.1.	Gula.....	19
2.3.2.	Garam Dapur.....	20
2.4.	<i>Response Surface Methodology</i> (RSM)	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	24
3.2.1.	Rancangan Perlakuan.....	25
3.2.2.	Rancangan Percobaan	25
3.2.3.	Rancangan Analisis	27
3.2.4.	Rancangan Respon.....	30
3.3.	Prosedur Penelitian	31
3.3.1.	Penelitian Pendahuluan.....	31
3.3.2.	Penelitian Utama.....	32
3.4.	Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	35
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1.	Penelitian Pendahuluan	36
4.1.1.	Kadar Protein	36
4.1.2.	Kadar Lemak.....	37
4.2.	Penelitian Utama	37
4.2.1.	Respon Kimia	37
4.2.2.	Respon Fisik	45
4.2.3.	Respon Organoleptik	61

4.2.4. Formulasi Optimal	81
4.2.5. Verifikasi Formulasi Optimal	88
V. KESIMPULAN DAN SARAN	90
5.1. Kesimpulan	90
5.2. Saran.....	90
DAFTAR PUSTAKA.....	92
LAMPIRAN	103

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Bahan Tambahan (Variabel Tetap) dalam Jumlah %	25
Tabel 2. Faktor dan Level yang Diuji dengan metode BBD	25
Tabel 3. Penentuan Goals pada Respon.....	26
Tabel 4. Rancangan Percobaan dengan Metode BBD.....	26
Tabel 5. Skala Hedonik.....	30
Tabel 6. Jadwal Pelaksanaan Penelitian	35
Tabel 7. Hasil Penelitian Pendahuluan Kadar Protein.....	36
Tabel 8. Hasil Penelitian Pendahuluan Kadar Lemak	37
Tabel 9. Hasil Analisis Kadar Protein (%)	38
Tabel 10. ANOVA Kadar Protein.....	39
Tabel 11. Fit Statistics Kadar Protein	39
Tabel 12. Hasil Analisis Viskositas (cP)	46
Tabel 13. ANOVA Viskositas	47
Tabel 14. Fit Statistics Viskositas.....	47
Tabel 15. Hasil Analisis Stabilitas Fisik (%).....	54
Tabel 16. ANOVA Stabilitas Fisik	55
Tabel 17. Fit Statistics Stabilitas Fisik	56
Tabel 18. Hasil Organoleptik Atribut Warna.....	62
Tabel 19. ANOVA Organoleptik Atribut Warna.....	63
Tabel 20. Fit Statistics Organoleptik Atribut Warna	63
Tabel 21. Hasil Organoleptik Atribut Aroma	69
Tabel 22. ANOVA Organoleptik Atribut Aroma	70
Tabel 23. Fit Statistics Organoleptik Atribut Aroma.....	71
Tabel 24. Hasil Organoleptik Atribut Rasa	75
Tabel 25. ANOVA Organoleptik Atribut Rasa	76
Tabel 26. Fit Statistics Organoleptik Atribut Rasa	77
Tabel 27. Penetapan Goal dan Importance Produk.....	82
Tabel 28. Solusi Formulasi Terpilih	88
Tabel 29. Hasil Verifikasi Formulasi Optimal.....	89

Tabel 30. Data Perhitungan Penelitian Pendahuluan Analisis Kadar Protein (%)	104
Tabel 31. Perhitungan Penelitian Pendahuluan Kadar Protein	104
Tabel 32. Data Perhitungan Hasil Analisis Kadar Protein (%)	105
Tabel 33. Perhitungan Kadar Protein Formulasi 1	106
Tabel 34. Data Perhitungan Hasil Analisis Viskositas (cP)	110
Tabel 35. Data Perhitungan Hasil Stabilitas Fisik (%)	112
Tabel 36. Perhitungan Stabilitas Fisik Formulasi 1	113
Tabel 39. Data Hasil Respon Organoleptik Atribut Warna	115
Tabel 40. Data Hasil Respon Organoleptik Atribut Aroma	116
Tabel 41. Data Hasil Respon Organoleptik Atribut Rasa	117
Tabel 42. Data Perhitungan Formulasi Optimal Analisis Kadar Protein (%)	118
Tabel 43. Perhitungan Kadar Protein Formulasi Optimal	118
Tabel 44. Data Perhitungan Formulasi Optimal Analisis Viskositas (cP)	119
Tabel 45. Data Perhitungan Formulasi Optimal Analisis Stabilitas Fisik (%)	119
Tabel 46. Perhitungan Stabilitas Fisik Formulasi Optimal	119
Tabel 47. Data Hasil Respon Organoleptik Formulasi Optimal	120
Tabel 37. Kebutuhan Bahan Baku	122
Tabel 38. Rancangan Biaya Penelitian	122

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Edamame.....	11
Gambar 2. Tampilan <i>Design Expert</i> 13	27
Gambar 3. Metode <i>Box Behnken Design</i> (BBD).....	28
Gambar 4. Penentuan Respon.....	28
Gambar 5. <i>Running RSM</i>	29
Gambar 6. Diagram Alir Pembuatan Sari Edamame.....	31
Gambar 7. Diagram Alir Pembuatan Minuman Protein Edamame	34
Gambar 8. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan CMC terhadap Kadar Protein	41
Gambar 9. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan Lesitin terhadap Kadar Protein	43
Gambar 10. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan CMC terhadap Viskositas.	49
Gambar 11. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan Lesitin terhadap Viskositas	52
Gambar 12. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan CMC terhadap Stabilitas Fisik	57
Gambar 13. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan Lesitin terhadap Stabilitas Fisik	60
Gambar 14. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan CMC terhadap Organoleptik Atribut Warna	65
Gambar 15. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan Lesitin terhadap Organoleptik Atribut Warna	67
Gambar 16. Grafik Tiga Dimensi CMC dan Lesitin terhadap Organoleptik Atribut Warna	68
Gambar 17. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan CMC terhadap Organoleptik Atribut Aroma	72
Gambar 18. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan Lesitin terhadap Organoleptik Atribut Aroma	74
Gambar 19. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan CMC terhadap Organoleptik Atribut Rasa.....	79
Gambar 20. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan Lesitin terhadap Organoleptik Atribut Rasa.....	80
Gambar 21. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan CMC terhadap Nilai <i>Desirability</i>	85

- Gambar 22. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan Lesitin terhadap Nilai *Desirability* 86
- Gambar 23. Grafik Tiga Dimensi CMC dan Lesitin terhadap Nilai *Desirability* ..87

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Prosedur Analisis Kadar Protein Metode <i>Kjedahl</i>	103
Lampiran 2. Prosedur Analisis Kadar Lemak Metode <i>Soxhlet</i>	107
Lampiran 3. Prosedur Pengujian Viskositas Metode <i>Brookfield</i>	109
Lampiran 4. Prosedur Pengujian Stabilitas Fisik.....	111
Lampiran 5. Formulir Uji Organoleptik Uji Hedonik.....	114
Lampiran 6. Hasil Penelitian Utama Respon Organoleptik Atribut Warna	115
Lampiran 7. Hasil Penelitian Utama Respon Organoleptik Atribut Aroma	116
Lampiran 8. Hasil Penelitian Utama Respon Organoleptik Atribut Rasa	117
Lampiran 9. Verifikasi Formulasi Optimal Kadar Protein	118
Lampiran 10. Verifikasi Formulasi Optimal Viskositas.....	119
Lampiran 11. Verifikasi Formulasi Optimal Stabilitas Fisik.....	119
Lampiran 12. Verifikasi Formulasi Optimal Respon Organoleptik	120
Lampiran 13. Formulasi Minuman Edamame	121
Lampiran 14. Kebutuhan Bahan Penelitian dan Rancangan Anggaran Biaya Penelitian	122
Lampiran 15. Dokumentasi Pembuatan Produk	123
Lampiran 16. Dokumentasi Analisis	125

I. PENDAHULUAN

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

1.1. Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir, permintaan global terhadap minuman nabati menunjukkan peningkatan. Fenomena ini dipengaruhi oleh meningkatnya kesadaran konsumen terhadap pentingnya pola hidup sehat, manfaat gizi, serta isu keberlanjutan lingkungan (Klinmalai et al., 2025). Berdasarkan permintaan, pasar susu nabati global memiliki nilai sebesar 27,3 miliar USD pada tahun 2022 dan diproyeksikan mencapai 44,8 miliar USD pada tahun 2027 dengan tingkat pertumbuhan tahunan gabungan sebesar 10,4%. Di kawasan Uni Eropa menjadi perkembangan minuman nabati yang cukup pesat dengan ditandai adanya peningkatan sebesar 14% dan penjualan mencapai 24 juta liter pada tahun 2021. Minuman oat mendominasi sebesar 25% dari total pasar minuman nabati diikuti dengan minuman kedelai dan almond (Pérez-Rodríguez et al., 2023).

Peningkatan konsumsi minuman nabati tersebut sejalan dengan perubahan pola hidup masyarakat yang semakin memperhatikan aspek kesehatan. Menurut data *Nielsen's New Global Health and Ingredient-Sentiment Survey* menunjukan bahwa sekitar 70% responden diberbagai negara menjalani pola diet tertentu sebagai upaya pencegahan penyakit degeneratif. Data tersebut menunjukan adanya pergeseran pola konsumsi masyarakat ke arah yang lebih sehat, termasuk meningkatnya minat terhadap minuman berbasis nabati (Sa'diyah, 2025).

Di sisi lain, meningkatnya intensitas aktivitas serta tuntutan pekerjaan khususnya pada masyarakat perkotaan, seringkali terjadi hambatan dalam menerapkan pola hidup sehat secara konsisten. Kondisi ini mendorong kebutuhan akan produk pangan yang praktis, mudah dikonsumsi, namun tetap memberikan manfaat kesehatan. Oleh karena itu, minuman yang praktis dan bermanfaat akan memudahkan masyarakat dalam mengonsumsinya (Sutrisno et al., 2019). Hal tersebut menjadi alternatif yang relevan sehingga dapat berkembangnya inovasi produk minuman fungsional berbasis nabati.

Minuman fungsional berbasis nabati adalah minuman yang terbuat dari sari biji-bijian, kacang-kacangan atau serelia dengan melalui proses pemanasan pada waktu tertentu dan suhu rendah dibawah 100°C (Maris & Radiansyah, 2021). Salah satu produk yang dikenal sebagai susu nabati yang menyerupai susu konvensional, namun berasal dari sumber tanaman. Sebagai salah satu produk alternatif yang kaya akan nutrisi, seperti karbohidrat, protein, serat, dan senyawa bioaktif (Martinez et al., 2020).

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), tahun 2020 tingkat konsumsi susu masyarakat Indonesia mencapai 16,27 kg per kapita/tahun. Angka tersebut masih lebih rendah dibandingkan konsumsi susu di Malaysia yang mencapai 50 kg per kapita/tahun serta Vietnam sebesar 20 kg per kapita/tahun. Jumlah konsumsi susu di Indonesia masih tidak mampu memenuhi kebutuhan nasional yang mencapai 4,3 juta ton/tahun (BPS, 2020 dalam El Hadi et al., 2023). Rendahnya tingkat konsumsi susu di Indonesia salah satunya disebabkan adanya masyarakat yang mengalami intoleransi laktosa maupun alergi terhadap protein kasein sehingga

susu nabati dimanfaatkan sebagai alternatif pengganti susu sapi (Sentana et al., 2017). Di antara berbagai sumber bahan nabati, edamame dinilai memiliki potensi yang menjanjikan sebagai bahan baku susu nabati karena mengandung protein berkualitas tinggi, memiliki indeks glikemik relatif rendah, serta kaya akan serat pangan dan asam amino esensial yang dibutuhkan tubuh (Klinmalai et al., 2025).

Jember merupakan salah satu daerah penghasil kedelai di Indonesia dengan produksi mencapai 27.732 ton pada tahun 2013 dan terjadi surplus sebesar 2.259 ton sehingga berpotensi mendukung pengembangan komoditas kedelai termasuk edamame (Rosiana & Amareta, 2016). Menurut data Badan Karantina Pertanian, Indonesia berhasil mengekspor edamame sebesar 6.790,7 ton pada tahun 2019 dengan sekitar 66,6% atau 4.525,8 ton berasal dari wilayah Jember dan sekitarnya. Aktivitas ekspor edamame terus berlanjut hingga tahun 2024 yang menunjukkan bahwa potensi ekspor edamame Indonesia masih cukup besar dan memiliki prospek yang baik untuk terus dikembangkan (Kiptiyah et al., 2025).

Edamame merupakan salah satu jenis kedelai putih yang berasal dari Jepang, tetapi sudah dibudidayakan di Indonesia (Samsu, 2003). Edamame memiliki nilai ekonomi yang lebih tinggi dibandingkan kedelai biasa. Tingginya permintaan masyarakat menjadikan edamame sebagai salah satu komoditas pangan yang strategis karena berperan penting sebagai sumber bahan pangan yang bergizi (Gani & Fauzi, 2023). Kadar protein edamame rata-rata melebihi 40% dan telah mencakup seluruh asam amino esensial yang umumnya tidak terdapat secara lengkap pada sebagian besar tanaman pangan lain. Selain itu, edamame juga kaya akan vitamin A dan B, serta mengandung zat besi dan serat pangan dalam jumlah

yang relatif tinggi. Produk olahannya dalam bentuk susu nabati juga memiliki keunggulan karena tidak mengandung laktosa dan kadar lemaknya lebih rendah (2,5 g/100g) sehingga cocok dikonsumsi oleh individu yang menerapkan pola makan rendah lemak (Wayan et al., 2019). Edamame umumnya diolah secara sederhana dengan cara direbus dan sering dikonsumsi sebagai camilan sehari-hari. Metode pengolahan ini dianggap praktis karena edamame dapat langsung dikonsumsi tanpa perlu diolah menjadi produk lain, berbeda dengan jenis kacang-kacangan lainnya (Abdul Halif et al., 2024).

Edamame sebagai sumber asam lemak tak jenuh, terutama asam linoleat dan linolenat, serta mengandung saponin dan isoflavon. Senyawa-senyawa tersebut berkontribusi terhadap berbagai manfaat kesehatan, antara lain aktivitas antioksidan, efek antiinflamasi, serta perlindungan kardiovaskular. Namun demikian, pengembangan minuman edamame masih menghadapi beberapa tantangan formulasi. Sifat koloid serta tingginya kandungan protein dan serat menyebabkan produk rentan mengalami pemisahan fase, sedimentasi serta memiliki stabilitas simpan yang relatif rendah (Klinmalai et al., 2025). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan untuk menentukan komposisi bahan yang mampu menghasilkan karakteristik produk yang stabil dan berkualitas. Salah satunya dengan optimasi formulasi.

Optimasi formulasi merupakan suatu metode yang digunakan untuk menentukan kombinasi formulasi yang paling tepat berdasarkan respon yang diamati. Proses penentuan formulasi optimal tersebut dapat dilakukan dengan

berbagai metode, salah satunya menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) (Rukmana, 2018).

Response Surface Methodology (RSM) merupakan salah satu metode statistik yang banyak digunakan untuk mengevaluasi serta mengoptimalkan proses atau formulasi produk. Pada pengembangan susu edamame, metode RSM ini memungkinkan analisis beberapa variabel formulasi sehingga dapat diketahui pengaruh masing-masing faktor maupun interaksi antar faktor terhadap respon yang diamati. Metode ini memiliki desain percobaan yang terstruktur sehingga mampu mengurangi jumlah percobaan yang dilakukan, namun tetap menghasilkan data yang akurat dan dapat diulang (Sivaji et al., 2025). *Response Surface Methodology* (RSM) dipilih karena mampu menggambarkan hubungan matematis antar variabel formulasi dan menentukan kondisi optimum suatu produk dengan tingkat akurasi yang tinggi (F. Lalong et al., 2025).

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk memperoleh formulasi optimal pembuatan minuman protein berbasis edamame menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) metode *Box Behnken Design* (BBD) dengan penambahan CMC dan lesitin.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, permasalahan yang dapat diidentifikasi, yaitu apakah konsentrasi sari edamame, konsentrasi CMC, dan konsentrasi Lesitin dalam formulasi minuman protein dapat diperoleh formulasi optimum menggunakan program *Design Expert* dengan *Response Surface Methodology* (RSM) metode *Box Behnken Design* (BBD)?

1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian adalah untuk menentukan formulasi dalam pembuatan minuman protein berbasis edamame dengan penambahan CMC dan lesitin menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) metode *Box Behnken Design* (BBD).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui, mempelajari, dan menghasilkan formulasi terbaik minuman protein berbasis edamame yang dipengaruhi oleh CMC dan lesitin menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) metode *Box Behnken Design* (BBD).

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Akademik: dapat menambah referensi dalam pengembangan produk minuman protein berbasis edamame dan menjadi rujukan bagi penelitian lanjutan untuk menghasilkan mutu produk pangan nabati terbaik.
2. Pemerintah: dapat mendukung program diversifikasi pangan dan alternatif minuman sumber protein nabati yang bermanfaat bagi masyarakat.
3. Industri: dapat menjadi acuan dalam mengembangkan minuman protein berbasis edamame dengan formulasi yang tepat.

1.5. Kerangka Pemikiran

Susu nabati merupakan minuman yang berasal dari bahan tumbuhan dan digunakan sebagai alternatif pengganti susu hewani. Susu nabati tidak mengandung laktosa, susu nabati cocok dikonsumsi oleh individu yang mengalami intoleransi

laktosa. Salah satu jenis susu nabati yang telah dikenal luas di masyarakat adalah susu kedelai (Sitohang et al., 2024). Selain itu, telah banyak berkembang susu nabati dari bahan biji-bijian lainnya, seperti kombinasi jagung dan edamame.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Tio Larosta et al. (2019), menunjukkan bahwa peningkatan edamame dalam formulasi susu nabati jagung manis dan edamame menyebabkan peningkatan nilai viskositas. Nilai viskositas tertinggi diperoleh pada perbandingan jagung manis dan edamame sebesar 150:150 dan 100:200. Peningkatan viskositas berkaitan dengan tingginya kandungan protein dalam edamame, yaitu sekitar 30, 20 g per 100 g bahan. Semakin banyak edamame yang ditambahkan, maka kadar protein minuman juga semakin meningkat. Susu nabati dengan kandungan protein tinggi cenderung memiliki tekstur lebih kental dan dapat membentuk gumpalan saat dipanaskan bila kadar proteinya $>7\%$, sehingga berpotensi menurunkan tingkat kesukaan konsumen.

Penelitian yang dilakukan oleh Alifandi et al. (2024) adanya peningkatan kadar protein seiring bertambahnya kedelai. Protein pada produk kedelai bersumber dari biji kedelai. Kandungan protein biji kedelai berkisar antara 40-42%. Perlakuan formulasi kombinasi kedelai dan kacang tolo (75:25) menunjukkan kadar protein tertinggi sebesar 2,53%. Peningkatan kadar protein pada susu kedelai-kacang tolo tersebut diduga dipengaruhi oleh proporsi kedelai yang lebih tinggi dibandingkan kacang tolo, mengingat kandungan protein pada kedelai lebih besar dibandingkan kacang tolo (Hesthiati et al., 2024).

Berdasarkan penelitian Latifasari et al. (2025) penambahan penstabil berupa CMC (*Carbomethyl Cellulose*) akan meningkatkan viskositas *yoghurt drink* yang

dihasilkan seiring bertambahnya CMC. Penambahan CMC pada kisaran 0,1-0,9% terbukti mampu memperbaiki stabilitas fisik dari *yoghurt drink*. Dengan penambahan CMC, *yoghurt* dapat bertahan dengan disimpan selama 12 hari pada kondisi suhu refrigerator (4-8°C) dibandingkan dengan tidak ditambahkan CMC.

CMC sebagai penstabil berfungsi untuk menyatukan air dan endapan yang terpisah (tidak homogen) dalam pembuatan susu kacang. CMC menjaga kestabilan minuman dengan mempertahankan partikel padat tetap tersebar merata diseluruh bagian sehingga mencegah terjadinya pengendapan (Hesthiati et al., 2024). Stabilitas minuman nabati berbasis kacang kedelai dan oat merupakan aspek penting untuk menjaga mutu, keamanan, serta daya simpan produk selama proses distribusi hingga dikonsumsi. Stabilitas tersebut dipengaruhi beberapa faktor diantaranya: 1) ukuran partikel yang terdispersi didalam sistem, seperti globula lemak, partikel padat, dan protein yang dapat menyebabkan tekstur berpasir atau kasar saat dikonsumsi serta memicu pemisahan lapisan dan terbentuknya endapan selama penyimpanan; 2) proses pembentukan emulsi; 3) keberadaan granula pati yang tidak terpecah; dan 4) tingkat kelarutan protein dalam produk (Amali, 2025).

Penggunaan kombinasi stabilizier dan emulsifier dinilai efektif dalam menjaga kestabilan fisik minuman. Penggunaan kombinasi CMC 0,2% pada minuman berbasis protein mampu mempertahankan kestabilan hingga 14 hari penyimpanan pada suhu dingin tanpa menunjukkan pemisahan fasa yang signifikan (Amali, 2025). Semakin tinggi konsentrasi emulsifier seperti lesitin dan CMC sebagai stabilizer ditambahkan, maka kestabilan sistem akan semakin meningkat. Kondisi ini terjadi karena zat pengemulsi mampu menurunkan tegangan permukaan

sehingga emulsi menjadi lebih menyatu. Penambahan emulsifier juga memperkuat interaksi antara lemak dan air. Emulsifier akan terdispersi dalam air dimana bagian yang bersifat hidrofilik akan mengikat air yang sebelumnya bergerak bebas yang dapat meningkatkan stabilitas sistem (Fitriyaningtyas & Widyaningsih, 2015).

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Yusya et al. (2023) formulasi minuman sari jagung manis dan kacang hijau menunjukkan pengaruh terhadap hasil uji hedonik yang meliputi parameter warna, aroma, rasa, kekentalan, dan penilaian keseluruhan. Perlakuan dengan perbandingan 1:1 memperoleh skor tertinggi pada parameter rasa, aroma, kekentalan, dan keseluruhan. Selain itu, pada uji ranking, perlakuan 1:1 juga menempati peringkat pertama untuk atribut rasa dan kekentalan. Penerimaan terhadap keseluruhan susu almond edamame berkisar antara 4,8 (agak suka) sampai dengan 5,85 (suka), sehingga produk tersebut dapat diterima dengan baik oleh seluruh panelis dengan perbandingan susu almond dan edamame 60% : 40% (Hasanah et al., 2020).

Setiap jenis kedelai memiliki komposisi kimia yang berbeda sehingga dapat memengaruhi sifat fisik, kimia, serta karakteristik organoleptik dari produk yang dihasilkan (Nirmagustina & Rani, 2013).

1.6. Hipotesis Penelitian

Berdasarkan latar belakang permasalahan didukung oleh kerangka pemikiran diduga penggunaan *Design Expert* dengan metode *Response Surface Methodology* (RSM) dapat menentukan formulasi optimal yang dipengaruhi faktor konsentrasi sari edamame, CMC, dan lesitin untuk pembuatan minuman protein berbasis edamame.

1.7. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Penelitian Teknologi Pangan Universitas Pasundan, Jl. Dr. Setiabudi No. 193, Kota Bandung. Waktu penelitian dilaksanakan dari bulan Juni 2026 sampai selesai.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan mengenai: 2.1. Edamame, 2.2. Minuman Nabati, 2.3. Bahan Tambahan Pangan, dan 2.4. *Response Surface Methodology*.

2.1. Edamame



(Sumber: Indis et al., 2025)

Gambar 1. Edamame

Edamame (*Glycine max* (L.) Merrill) merupakan tanaman yang termasuk ke dalam kelompok polong-polongan dari famili *Fabaceae* yang dikenal sebagai kedelai sayur di negara seperti Jepang dan China dengan mengosumsinya dalam bentuk kedelai hijau (*green soybean vegetable*). Edamame dipanen saat masih muda sebelum bijinya mengalami pengerasan. Setelah dikupas, edamame dikenal sebagai *mukimame*, yaitu biji kedelai berwarna hijau yang umumnya dikonsumsi sebagai sayuran maupun dijadikan camilan atau *snack* sehat (Indis et al., 2025).

Tanaman kedelai varietas edamame (*Glycine max* (L.) Merrill) berasal dari istilah bahasa Jepang, yaitu *eda* yang berarti cabang dan *mame* yang berarti kacang. Edamame memiliki ukuran biji yang lebih besar, rasa lebih manis, serta tekstur lebih lembut dibandingkan kedelai biasa sehingga berpotensi sebagai sumber protein nabati bagi masyarakat. Edamame dan kedelai kuning berasal dari spesies

yang sama, yaitu *Glycine max (L.) Merrill*. Namun, edamame memiliki karakteristik yang berbeda, seperti aroma kacang yang lebih kuat dan mudah dicerna oleh tubuh dibandingkan dengan kedelai kuning (Nur et al., 2018). Di Indonesia pengembangan edamame banyak dilakukan di Jawa Timur dengan memasarkan produk dalam bentuk edamame beku dan biji kupas. Kabupaten Jember menjadi pusat produksi edamame terbesar di Indonesia. Pengembangan produk pangan menggunakan edamame masih belum banyak dimanfaatkan oleh masyarakat Indonesia (Abdul Halif et al., 2024; Kiptiyah et al., 2025).

Edamame sering diolah menjadi camilan dengan cara yang sederhana, yaitu direbus karena dinilai praktis dan mudah diolah. Edamame juga dapat diolah menjadi produk beku (*frozen ready to eat*) atau berbagai produk pangan olahan, seperti miso dan susu edamame. Susu edamame diketahui mengandung senyawa bioaktif, salah satunya total fenol yang berpotensi dikembangkan sebagai minuman fungsional bernilai gizi tinggi (Abdul Halif et al., 2024; Rosiana & Amareta, 2016).

2.1.1. Klasifikasi Edamame

Menurut Pambudi (2013), klasifikasi tanaman kedelai edamame sebagai berikut:

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Divisi	: <i>Spermatophyta</i>
Subdivisi	: <i>Angiospermae</i>
Kelas	: <i>Dicotyledonae</i>
Ordo	: <i>Polypetales</i>
Famili	: <i>Fabaceae</i>

Genus : *Glycine*

Species : *Glycine max (L) Merrill*

Beberapa varietas edamame yang telah dikembangkan di Indonesia meliputi Ocunami, Tsuronoko, Taiso, dan Ryokkoh memiliki bunga berwarna putih, sedangkan varietas lainnya memiliki bunga berwarna ungu (Soewanto et al., 2007). Varietas Ryoko merupakan salah satu varietas edamame yang banyak dibudidayakan. Varietas ini memiliki polong berukuran besar dengan permukaan berbulu halus, serta rasa yang manis (Febrianti et al., 2022).

2.1.2. Kandungan Edamame

Biji edamame merupakan salah satu sumber protein nabati yang tidak mengandung kolesterol maupun lemak jenuh. Edamame juga kaya akan kalsium, vitamin A dan B, zat besi, serta pangan yang bermanfaat untuk membantu mencegah osteoporosis dan menjaga kekuatan tulang serta gigi. Edamame diketahui memiliki aktivitas antioksidan karena mengandung senyawa fitokimia, seperti isoflavon (0,1-3%), sterol (0,23-0,46%), dan saponin (0,12-6,16%) (Hasanah & Anggraeni, 2023).

Isoflavon merupakan senyawa bioaktif utama pada kedelai yang terdiri dari beberapa jenis, diantaranya genistin, daidzin, genistein, dan daidzein. Senyawa isoflavon dalam kedelai umumnya berada dalam bentuk glikosida yang dapat terhidrolisis menjadi bentuk aglikon oleh enzim β -glukosidase. Daidzein dan genistein merupakan isoflavon yang paling dominan dalam kedelai sekitar 80-90% total isoflavon terdapat pada bagian kotiledon biji (Nur et al., 2018).

Edamame termasuk dalam kelompok makanan sehat karena memiliki kandungan gizi yang cukup lengkap. Dalam 100 g edamame terdapat asam folat sebesar 482 mcg (121% AKG), protein 16,9 g (34-45%), lemak (18-32%), serta karbohidrat (12-30%). Selain itu, edamame mengandung berbagai vitamin, seperti vitamin A, B1 (0,27 mg), B2 (0,14 mg), B3 (1 mg), dan vitamin C, serta mineral seperti fosfor 140 mg, kalsium 70 mg, zat besi 1,7 mg, dan kalium 140 mg (Sutrisno et al., 2019).

2.1.3. Manfaat Edamame

Protein merupakan salah satu komponen utama yang terdapat pada edamame. Edamame diketahui mengandung sembilan jenis asam amino esensial yang dibutuhkan oleh tubuh. Asam amino dan protein berperan dalam memelihara serta membangun jaringan tubuh menjadi sumber energi selain karbohidrat dan lemak, membantu dalam pembentukan antibodi, mendukung regenerasi sel yang rusak, serta berperan dalam mempercepat berbagai reaksi kimia didalam tubuh (Indis et al., 2025). Edamame memiliki manfaat yang baik bagi penurunan tekanan darah. Kandungan pada edamame yang dapat mengatur tekanan darah seseorang, meningkatkan sistem imun tubuh, mencegah terjadinya pengerasan arteri, penyakit jantung, dan tekanan darah tinggi (Halim et al., 2024).

2.2. Minuman Nabati

Minuman berbasis nabati mulai diminati karena dianggap lebih sehat, bebas laktosa, serta sesuai dengan pola makan berbasis nabati dan konsep pangan berkelanjutan. Minuman nabati sering disebut sebagai susu nabati karena memiliki tampilan, tekstur, dan kekentalan yang menyerupai susu sapi meskipun secara

komposisi berbeda dari susu hewani. Bahan baku minuman nabati sangat beragam, seperti serelia, kacang-kacangan, biji-bijian, polong-polongan, dan umbi-umbian. Beberapa bahan nabati tersebut juga memiliki kandungan protein yang cukup tinggi sehingga berpotensi dikembangkan sebagai minuman berprotein berbasis nabati (Amali, 2025).

Minuman berprotein merupakan minuman yang diformulasikan dari campuran berbagai bahan pangan yang kaya akan protein tinggi yang dapat memberikan manfaat nutrisi yang baik bagi kesehatan tubuh. Minuman berprotein juga dapat memberikan energi yang lebih tahan lama serta berperan dalam mendukung kebutuhan nutrisi harian. Selain itu, minuman berprotein dapat dimanfaatkan sebagai alternatif pengganti makanan ketika seseorang beraktivitas (Rustandi & Taufiq, 2024).

Protein merupakan salah satu zat gizi yang mengandung nitrogen dan memiliki peran penting dalam fungsi tubuh. Protein berfungsi untuk memenuhi kebutuhan nitrogen serta asam amino yang diperlukan dalam berbagai proses metabolisme. Kekurangan asupan protein dapat menyebabkan terganggunya proses metabolisme serta menurunkan sistem kekebalan tubuh. Protein berperan sebagai zat utama dalam pembentukan dan pertumbuhan jaringan tubuh karena merupakan komponen utama penyusun sel-sel tubuh. Protein juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi ketika cadangan karbohidrat dan lemak didalam tubuh tidak mencukupi (Saputra et al., 2025).

2.2.1. Karakteristik Minuman Nabati

Susu nabati menjadi alternatif yang diminati sebagai pengganti susu hewani karena dianggap lebih sehat dan ramah lingkungan. Dalam pengembangannya, dua aspek penting yang perlu diperhatikan adalah nilai gizi dan karakteristik sensori. Hal tersebut dapat memengaruhi kualitas serta penerimaan konsumen terhadap produk. Secara nutrisi, susu nabati mengandung protein nabati, vitamin, dan mineral yang jumlahnya dapat berbeda tergantung bahan yang digunakan, seperti kedelai, almond atau kacang-kacangan. Selain itu, susu nabati diperkaya dengan kalsium, vitamin D, dan vitamin B12 untuk meningkatkan nilai gizinya (Sitohang et al., 2024).

Karakteristik sensori salah satu faktor yang penting dalam menentukan tingkat penerimaan konsumen. Karakteristik sensori meliputi tekstur, rasa, aroma, dan warna produk. Tekstur susu nabati dapat bervariasi dari kental hingga encer tergantung bahan baku dan proses pengolahan yang digunakan. Rasa dan aroma yang dihasilkan sebaiknya tidak terlalu kuat atau langu dari bahan nabati agar lebih disukai konsumen. Sementara itu, warna yang menarik dan konsisten juga dapat meningkatkan daya tarik serta memberikan kesan kualitas yang baik pada produk (Priscilla et al., 2020).

2.2.2. Minuman Fungsional

Minuman fungsional merupakan salah satu bentuk pangan fungsional yang memberikan manfaat bagi kesehatan selain sebagai sumber asupan gizi. Minuman ini harus memenuhi dua fungsi utama, yaitu menyediakan zat gizi serta memberikan kepuasan sensori, seperti rasa enak dan tekstur yang baik. Minuman fungsional juga

memiliki fungsi tambahan, seperti mengandung probiotik, meningkatkan asupan vitamin dan mineral tertentu, membantu meningkatkan stamina tubuh, serta berpotensi menurunkan risiko terjadinya penyakit tertentu (Saputra et al., 2025). Minuman fungsional dapat meningkatkan kesehatan jantung, imunitas, pencernaan, dan kesehatan sendi, serta dapat menciptakan rasa kenyang dan meningkatkan suasana hati. Produk minuman fungsional sendiri dikategorikan kedalam minuman susu (susu fermentasi, *yoghurt* diperkaya dengan probiotik) dan minuman non-susu (minuman berbahan dasar buah dan sayur) (Panou & Karabagias, 2025). Untuk mencapai karakteristik minuman nabati yang stabil dan bernilai gizi tinggi, diperlukan penambahan bahan pendukung. Dalam penelitian ini, digunakan CMC sebagai penstabil dan lesitin sebagai emulsifier.

2.2.2.1. CMC

Carboxymethyl Cellulose (CMC) merupakan bahan penstabil yang termasuk dalam kelompok hidrokoloid berfungsi memperbaiki tekstur produk pangan melalui peningkatan konsistensi, viskositas, kekentalan, kekuatan gel, serta mempertahankan kestabilan produk (Erniati et al., 2025). Secara struktur, CMC merupakan turunan selulosa yang tersusun atas rantai polimer selulosa. Setiap unit anhidroglukosa memiliki tiga gugus hidroksil dengan sebagian atom hidrogen pada gugus hidroksil mengalami substitusi oleh gugus karboksimetil (Kamal, 2010).

Dalam produk minuman, CMC berperan sebagai bahan penstabil yang mampu mempertahankan partikel suspensi tetap terdispersi sehingga mengurangi terjadinya pengendapan. CMC menyerap air yang akan mengalami pembengkakan, kemudian membentuk jaringan tiga dimensi yang memerangkap molekul air di

dalam matriksnya. Proses tersebut menghasilkan sistem yang lebih homogen dengan viskositas yang stabil serta mendukung kestabilan produk selama penyimpanan (Fitri et al., 2024; Jamaludin et al., 2024; Sutrisno et al., 2019).

CMC mampu membentuk sistem dispersi koloid serta meningkatkan viskositas sehingga partikel tersuspensi dapat terperangkap dalam sistem tersebut dan tidak mudah mengendap akibat pengaruh gaya gravitasi. CMC dapat mencegah pengendapan protein pada titik isoelektriknya serta meningkatkan kekentalan produk pangan yang terjadi karena interaksi antara gugus karboksil pada CMC dengan gugus bermuatan positif pada protein (D. N. Anggraini et al., 2016).

Dalam aplikasi pada minuman, CMC berperan dalam menjaga kestabilan minuman dengan mempertahankan partikel padatan tetap terdispersi secara merata sehingga mencegah terjadi pengendapan. CMC juga memiliki beberapa keunggulan dibandingkan bahan penstabil lainnya, yaitu mudah larut baik dalam air panas maupun dingin, stabil terhadap keberadaan lemak, serta memiliki harga yang relatif lebih ekonomis dibandingkan penstabil lainnya (Hesthiati et al., 2024). Batas penggunaan CMC sebagai penstabil ditetapkan berdasarkan CPPB, yaitu digunakan dalam jumlah secukupnya sesuai kebutuhan hingga diperoleh fungsi yang diinginkan dalam produk (BPOM, 2013).

2.2.2.2. Lesitin

Lesitin merupakan fosfolipid alami yang terdapat pada berbagai sumber seperti, telur, kedelai, dan biji-bijian. Dalam industri pangan, lesitin tidak hanya berperan sebagai emulsifier, tetapi juga digunakan untuk memperbaiki tekstur, menjaga konsistensi, serta meningkatkan stabilitas produk. Lesitin memiliki sifat

bipolar, yaitu terdiri dari gugus ester fosfat yang bersifat polar (hidrofilik), serta dua rantai asam lemak yang bersifat nonpolar (hidrofobik) (Alfarizi et al., 2024). Bagian hidrofilik terdiri dari asam fosfat yang bersifat polar, sedangkan bagian lipofiliknya berupa dua rantai asam lemak yang bersifat nonpolar (Nurhidayat & Mardawati, 2022).

Batas penggunaan lesitin telah diatur dalam PerBPOM No. 13 tahun 2013, dimana penggunaan lesitin sebagai pengemulsi ditetapkan berdasarkan CPPOB, yaitu digunakan dalam jumlah secukupnya sesuai kebutuhan hingga diperoleh sifat fungsional yang diinginkan (BPOM, 2013).

2.3. Bahan Tambahan Pangan

2.3.1. Gula

Gula adalah karbohidrat sederhana yang berfungsi sebagai sumber energi. Gula sederhana seperti glukosa menyimpan energi yang kemudian dimanfaatkan oleh sel dan digunakan untuk memberikan rasa manis pada makanan dan minuman. Gula berfungsi sebagai pengawet karena sifatnya yang higroskopis sehingga mampu menurunkan nilai aktivitas air (A_w) pada bahan.

Gula pasir merupakan jenis gula yang paling mudah ditemukan dan sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari sebagai pemanis. Bahan ini diperoleh dari sari tebu yang kemudian mengalami proses kristalisasi hingga membentuk butiran berwarna putih hingga agak kecokelatan. Dalam 100 gram gula pasir terkandung energi sebesar 364 kalori, 94 gram karbohidrat, 5 mg kalsium, dan 1 mg fosfor (Erwanto & Martiyanti, 2024).

2.3.2. Garam Dapur

Garam dapur (NaCl) merupakan senyawa yang terbentuk dari reaksi antara asam kuat dan basa kuat, yaitu HCl dan NaOH. Dalam garam dapur terdapat ikatan ionik antara ion Na^+ dan Cl^- . Kedua ion saling berikatan melalui gaya tarik elektrostatis untuk mempertahankan pasangan elektronnya. Akibat adanya gaya tarik-menarik ini, terbentuk susunan teratur dari banyak ion Na^+ dan Cl^- yang menghasilkan struktur kristal padat. Garam yang layak konsumsi umumnya memiliki kandungan NaCl sebesar 94,7-97% dengan kadar logam berbahaya yang rendah. Garam yang baik memiliki karakteristik berwarna putih, tidak berbau, serta dalam kondisi normal tidak mengandung air (Syafuruddin & Munawar, 2024). Garam mengandung mineral lain seperti magnesium, kalsium, fosfor, kobalt, kalium, seng, belerang, klor, mangan, tembaga, flour, dan iodium. Masing-masing mineral tersebut memiliki peran dan fungsi tersendiri dalam proses metabolisme tubuh (Agustina Sulastri et al., 2024).

Garam dapur umumnya berbentuk kristal putih yang dihasilkan melalui proses sedimentasi air laut. Garam memiliki sifat higroskopis, yaitu mudah menyerap air. Secara fisikokimia, garam memiliki massa molar sebesar 58,44 g/mol, densitas, 216 g/cm³, tingkat kepadatan sekitar 0,8-0,9 g/cm³, titik lebur pada suhu 801°C, titik didih 1465 °C, serta kelarutan dalam air sebesar 35,9 g per 100 mL (Agustina Sulastri et al., 2024). Garam dapur memiliki beberapa keunggulan diantaranya mampu menghasilkan larutan elektrolit yang kuat, memiliki harga yang relatif murah, bersifat disinfektan atau dapat membunuh mikroorganisme, tidak bersifat toksik, dan mudah diperoleh di pasaran bebas (Sutanto & Rohadi, 2020).

2.4. *Response Surface Methodology (RSM)*

Response Surface Methodology atau RSM merupakan suatu teknik matematika dan statistik yang digunakan untuk memodelkan serta menganalisis suatu permasalahan ketika respon dipengaruhi oleh beberapa faktor. Metode ini bertujuan untuk memperoleh kondisi respon yang optimum melalui perancangan percobaan yang melibatkan titik tengah (*central point*) dan titik aksial (*star arm runs*) (Septiani et al., 2023). *Response Surface Methodology* (RSM) dapat dimanfaatkan untuk menentukan kondisi proses yang paling optimal. Dalam pengolahan pangan, optimasi proses merupakan hal yang penting karena dapat memengaruhi biaya produksi dan kualitas produk. Penerapan RSM diharapkan membantu peneliti dalam menetapkan kondisi operasi yang optimum sehingga lebih efisien dari segi biaya, waktu, dan tenaga (Prabudi et al., 2018).

Response Surface Methodology divisualisasikan dalam bentuk grafik. *Contour plot* digunakan agar bentuk *Response Surface Methodology* lebih mudah diamati. Pada *contour plot*, garis-garis dengan nilai respon yang sama digambarkan pada bidang x_1 dan x_2 , dimana setiap garis kontur menunjukkan tingkat ketinggian tertentu dari *Response Surface*. Proses desain dan analisis dengan RSM, yaitu 1) merancang dan melaksanakan eksperimen untuk memperoleh data respon, 2) menyesuaikan data menggunakan berbagai model polinomial melalui analisis regresi, 3) melakukan *analysis of variance* (ANOVA) guna menilai signifikansi statistik serta menguji *lack of fit*, 4) memilih model paling sederhana yang mampu memberikan prediksi respon terbaik (Yudhistira Widarsaputra et al., 2022).

Response Surface Methodology tidak hanya digunakan untuk mengidentifikasi pengaruh variabel independen, tetapi juga menghasilkan model matematika yang dapat menggambarkan suatu proses kimia maupun biokimia. Konsep utama dari metode ini adalah menganalisis pengaruh variabel bebas terhadap respon, membangun model hubungan antara variabel bebas dan respon, serta menentukan kondisi proses yang mampu menghasilkan respon yang optimal. Metode RSM memiliki beberapa keunggulan, diantaranya tidak memerlukan jumlah data percobaan yang terlalu besar dan dapat dilakukan dalam waktu yang relatif lebih singkat (Rahmawati et al., 2022).

Analisis permukaan respon memiliki kemiripan dengan analisis regresi karena sama-sama menggunakan prosedur pendugaan parameter model fungsi responsi berdasarkan metode kuadrat kecil (*Least Square Method*). Perbedaannya dengan regresi linear terletak pada analisis permukaan respon yang dikembangkan lebih lanjut dengan penerapan berbagai teknik matematika untuk menentukan titik-titik optimum sehingga dapat diperoleh nilai respon yang optimal, baik maksimum maupun minimum (M. A. Octaviani et al., 2017).

Terdapat dua desain eksperimen yang umum digunakan, yaitu *Central Composite Design* (CCD) dan *Box-Behnken Design* (BBD). Desain eksperimen *Box-Behnken Design* (BBD) memiliki keunggulan dibandingkan *Central Composite Design* (CCD), terutama ketika digunakan pada tiga faktor variabel. BBD lebih efisien karena jumlah variabel yang sama, percobaan yang dilakukan lebih sedikit. BBD tidak memiliki titik ekstrim uji atau titik aksial diluar rentang faktor variabel (Azharini et al., 2022). BBD juga berguna ketika peneliti ingin

memastikan bahwa setiap variabel tetap berada dalam batas wilayah yang telah ditentukan. Hal ini berbeda dengan CCD yang memiliki titik aksial di luar “kubus” wilayah percobaan (Khoerunniyssa et al., 2024).

Dalam metode *Box-Behnken Design* (BBD) terdapat titik pusat yang digunakan sebagai parameter replikasi. Replikasi merupakan pengulangan perlakuan yang sama dalam kondisi yang sama untuk memperoleh tingkat ketelitian yang lebih tinggi. Pengulangan ini bertujuan agar percobaan lebih akurat sehingga dapat meminimalisir kesalahan pada eksperimen dan efek rata-rata yang diperoleh untuk suatu faktor (Azzahra & Hartati, 2024).

III. METODOLOGI PENELITIAN

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

3.1. Bahan dan Alat

3.1.1. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan minuman protein adalah edamame didapatkan dari daerah Ngamprah Kabupaten Bandung Barat, CMC menggunakan merk Koepoe-Koepoe, lesitin didapatkan dari Toko Sumber Jaya Kimia Kota Bandung, gula, dan garam.

Bahan-bahan yang digunakan dalam proses penelitian ini antara lain garam kjedahl, H_2SO_4 pekat, aquadest, NaOH 30%, batu didih, granula Zn, HCl 0,1 N, larutan baku NaOH 0,1 N, dan indikator PP.

3.1.2. Alat

Alat yang digunakan untuk pembuatan minuman protein berbasis edamame, yaitu timbangan digital, panci, *thermometer*, blender (Philips), kain waring, kompor, sendok, dan botol.

Alat yang digunakan untuk analisis penelitian, yaitu labu kjedahl, kompor, labu takar Iwaki 100 mL, pipet seukuran Pyrex, ball filler, labu erlenmeyer Pyrex 250 mL, kondensor, buret 50 mL, klem dan statif, viskometer *brookfield* (DV-E *Viscometer*), gelas kimia Pyrex, dan gelas ukur Iwaki 10 mL.

3.2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan yaitu menggunakan *Design Expert Software* dengan tiga variabel, yaitu konsentrasi sari edamame, konsentrasi CMC,

dan konsentrasi lesitin. Bahan-bahan yang dimasukkan merupakan variabel berubah pada RSM yaitu konsentrasi sari edamame, konsentrasi CMC, dan konsentrasi lesitin dengan adanya penambahan bahan pendukung sebagai variabel tetap sebagai berikut.

Tabel 1. Bahan Tambahan (Variabel Tetap) dalam Jumlah %

No	Nama Bahan	Jumlah (%)
1	Gula	6
2	Garam	0,1
Total		6,1

3.2.1. Rancangan Perlakuan

Rancangan perlakuan pada penelitian ini adalah konsentrasi sari edamame (A), konsentrasi CMC (B), dan konsentrasi lesitin (C) sebagai variabel independen, sedangkan variabel dependen pada penelitian ini adalah nilai optimum kadar protein, stabilitas fisik, viskositas, dan nilai hedonik.

Tabel 2. Faktor dan Level yang Diuji dengan metode BBD

Faktor	Batas Bawah	Batas Atas
Konsentrasi Sari Edamame	65%	75%
Konsentrasi CMC	0,2%	0,3%
Konsentrasi Lesitin	1%	2%

3.2.2. Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu metode *Box Behnken Design* (BBD) dengan banyaknya *run* (eksperimen) yang didapatkan menggunakan rumus berikut.

$$\text{Run} = 2k(k-1) + C_0$$

Keterangan:

k = Jumlah variabel bebas

Co = Jumlah *central point*

Berdasarkan rumus diatas, didapatkan bahwa jumlah *run* yang akan dilakukan sebanyak 15 run. Pada formulasi terpilih, diharapkan dapat memenuhi *goals* dan *importance* pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Penentuan *Goals* pada Respon

Respon	Target	Importance
Kadar Protein	<i>Maximize</i>	5 (+++++)
Viskositas	<i>In range</i>	5 (+++++)
Stabilitas Fisik	<i>In range</i>	5 (+++++)
Warna	<i>Maximize</i>	5 (+++++)
Aroma	<i>Maximize</i>	5 (+++++)
Rasa	<i>Maximize</i>	5 (+++++)

Berikut merupakan rancangan percobaan menggunakan *Design Expert 13* metode *Response Surface Methodology* (RSM).

Tabel 4. Rancangan Percobaan dengan Metode BBD

Run	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
	Konsentrasi Sari Edamame (%)	Konsentrasi CMC (%)	Konsentrasi Lesitin (%)
1	70	0,2	2
2	70	0,3	1
3	75	0,25	2
4	65	0,2	1,5
5	65	0,3	1,5
6	70	0,25	1,5
7	70	0,2	1

Run	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
	Konsentrasi Sari Edamame (%)	Konsentrasi CMC (%)	Konsentrasi Lesitin (%)
8	70	0,3	2
9	75	0,2	1,5
10	70	0,25	1,5
11	75	0,25	1
12	75	0,3	1,5
13	65	0,25	2
14	70	0,25	1,5
15	65	0,25	1

3.2.3. Rancangan Analisis

Rancangan analisis yang dilakukan dalam penelitian dengan menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM). Rancangan perlakuan ini terdiri dari konsentrasi sari edamame (A), konsentrasi CMC (B), dan konsentrasi lesitin (C). Langkah-langkah analisis pengolahan data menggunakan aplikasi *Design Expert* dengan metode RSM sebagai berikut:

1. Buka aplikasi *Design Expert* 13, lalu *new design* untuk membuat desain baru. Setelah itu pilih tujuan eksperimen yang akan digunakan yaitu RSM.



Gambar 2. Tampilan *Design Expert* 13

- Menentukan metode analisis, pada penelitian ini menggunakan metode *Box Behnken Design* (BBD). Lalu masukkan batas atas dan batas bawah dari masing-masing variabel bebas.

Box-Behnken Design

Each numeric factor is set to 3 levels. If categorical factors are added, the Box-Behnken design will be duplicated for every combination of the categorical factor levels. These designs have fewer runs than 3-Level Factorials.

Numeric factors: 3 (3 to 21) ☒ Horizontal
 Categorical factors: 0 (0 to 10) ☐ Vertical

	Name	Units	Low	High
A (Numeric)	sari edaname	%	65	75
B (Numeric)	CMC	%	0.2	0.3
C (Numeric)	lesitin	%	1	2

Blocks: 1
 Center points per block: 3 (0 to 1000) 15 Runs

Gambar 3. Metode *Box Behnken Design* (BBD)

- Menentukan respon yang akan dianalisis, yaitu kadar protein (%), viskositas (cP), stabilitas fisik (%), dan organoleptik meliputi warna, aroma, dan rasa.

Box-Behnken Design

Responses: 6 (1 to 999) ☒ Horizontal
☐ Vertical

	Name	Units
	Kadar Protein	%
	Viskositas	cP
	Stabilitas Fisik	%
	Warna	numeric
	Aroma	numeric
	Rasa	numeric

Gambar 4. Penentuan Respon

- Setelah menentukan model desain, batas atas dan batas bawah, serta respon yang diamati, maka diperoleh sebanyak 15 *running* (perlakuan).

Std	Run	Factor 1 Asari edama... %	Factor 2 B.CMC %	Factor 3 Clesitin %	Response 1 Kadar Protein %	Response 2 Viskositas cP	Response 3 Stabilitas Fisik %	Response 4 Warna numeric	Response 5 Aroma numeric	Response 6 Rasa numeric
11	1	70	0.2	2						
10	2	70	0.3	1						
8	3	75	0.25	2						
1	4	65	0.2	1.5						
3	5	65	0.3	1.5						
15	6	70	0.25	1.5						
9	7	70	0.2	1						
12	8	70	0.3	2						
2	9	75	0.2	1.5						
14	10	70	0.25	1.5						
6	11	75	0.25	1						
4	12	75	0.3	1.5						
7	13	65	0.25	2						
13	14	70	0.25	1.5						
5	15	65	0.25	1						

Gambar 5. Running RSM

- Produk kemudian dibuat berdasarkan formulasi yang diperoleh dari *software Design Expert*. Produk yang dihasilkan kemudian dianalisis terhadap beberapa respon, yaitu kadar protein, viskositas, stabilitas fisik, dan hedonik. Hasil analisis tersebut selanjutnya dicatat dan dimasukkan ke dalam tabel data.
- Data dari setiap respon kemudian diolah menggunakan *software Design Expert* sehingga diperoleh hasil berupa *fit summary*, ANOVA, grafik *countour plot*, grafik 3D *surface*, serta grafik residual plot.
- Proses optimasi respon dilakukan dengan menentukan *goal* optimasi yang akan dicapai pada setiap variabel bebas dan respon.

Hasil yang diperoleh dari setiap respon dianalisis dengan menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk mengetahui pengaruh masing-masing perlakuan pada taraf 5%. Suatu perlakuan dinyatakan berpengaruh signifikan dengan nilai *p-value* apabila $p < 0,05$. Pemilihan metode yang sesuai berdasarkan nilai *lack of fit* $> 0,05$ yang menunjukkan bahwa model yang digunakan telah sesuai dengan data dalam menentukan kondisi proses optimum (Ayu et al., 2015).

Formula optimum ditentukan berdasarkan nilai *desirability* tertinggi. Nilai *desirability* merupakan fungsi tujuan optimasi yang menunjukkan kemampuan program dalam memenuhi kriteria yang telah ditetapkan pada produk akhir. Nilai *desirability* berada pada rentang 0 hingga 1. Semakin mendekati nilai 1, maka kemampuan program dalam menghasilkan produk sesuai dengan karakteristik yang diinginkan semakin baik.

3.2.4. Rancangan Respon

Rancangan respon yang dilakukan meliputi respon kimia, fisik, dan organoleptik. Respon kimia yang akan diuji pada minuman protein berbasis edamame adalah kadar protein dengan metode kjedahl. Respon fisik yang akan diuji pada minuman protein berbasis edamame adalah viskositas dengan metode *brookfield* dan stabilitas fisik dengan sentrifugasi. Respon organoleptik yang akan diuji pada minuman protein berbasis edamame meliputi atribut warna, aroma, dan rasa menggunakan uji hedonik.

Uji hedonik merupakan metode untuk menilai produk berdasarkan pada preferensi dan kesukaan para panelis terhadap produk minuman protein dengan formulasi yang berbeda-beda (Rustandi & Taufiq, 2024). Untuk uji organoleptik ini diperlukan 30 orang panelis dengan kriteria penilaian pada tabel 5 berikut.

Tabel 5. Skala Hedonik

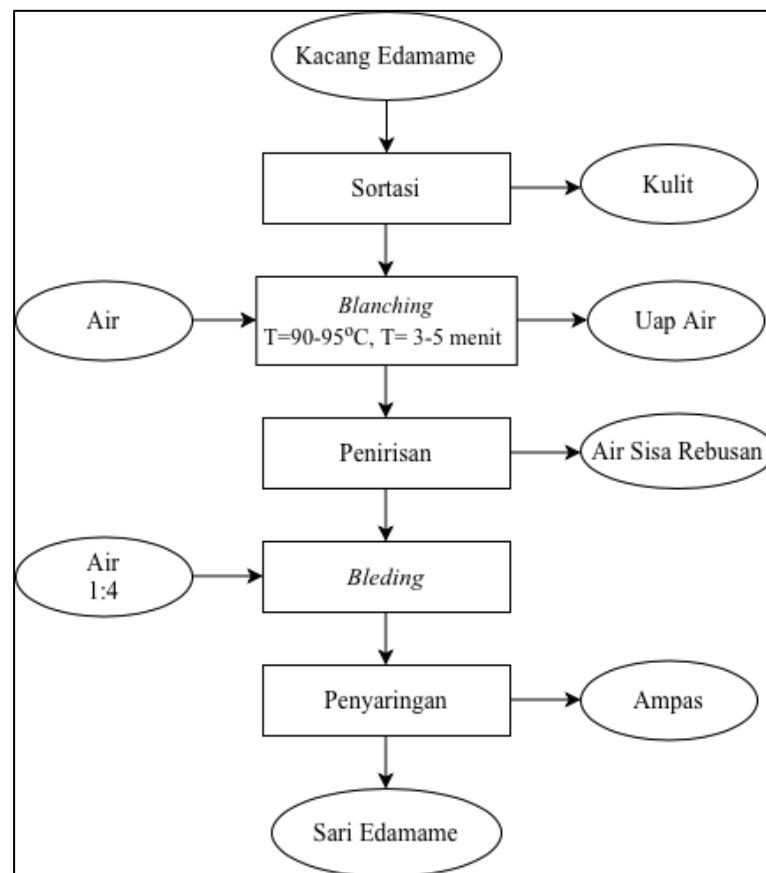
Skala Hedonik	Skala Numerik
Sangat Tidak Suka	1
Tidak Suka	2
Agak Tidak Suka	3
Agak Suka	4
Suka	5
Sangat Suka	6

3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Penelitian Pendahuluan

3.3.1.1. Penentuan Perbandingan Edamame dan Air

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk menentukan perbandingan edamame dengan air yang tepat dalam pembuatan susu edamame. Perbandingan edamame dan air pada penelitian Setyani et al. (2022), menggunakan rasio 1:4 (b/v). Pada penelitian ini dilakukan modifikasi melalui uji pendahuluan untuk memperoleh karakteristik produk yang sesuai.



(Sumber: Setyani et al., 2022)

Gambar 6. Diagram Alir Pembuatan Sari Edamame

Pembuatan sari edamame dalam penelitian ini menggunakan perbandingan edamame dan air sebesar 1:3 (b/v) yang merupakan modifikasi dari metode Setyani

et al. (2022) yang menggunakan rasio 1:4 (b/v). Modifikasi tersebut dilakukan karena pada tahap formulasi produk masih dilakukan penambahan air bersama bahan penyusun lainnya. Penggunaan perbandingan 1:3 (b/v) menghasilkan sari edamame yang lebih terkonsentrasi sehingga dapat meminimalkan efek pengenceran akibat penambahan air pada tahap formulasi.

3.3.1.2. Analisis Kadar Protein dan Lemak Edamame

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk mengetahui kadar protein dan lemak pada bahan baku edamame yang digunakan dalam pembuatan susu edamame. Hasil pendahuluan ini selanjutnya dijadikan sebagai acuan penggunaan lesitin dan kandungan protein dalam produk.

3.3.2. Penelitian Utama

Prosedur penelitian utama dalam pembuatan minuman protein berbasis edamame sebagai berikut.

1) Sortasi

Edamame yang masih utuh terlebih dahulu dilakukan pemisahan biji kacang edamame dari kulit polongnya. Proses ini bertujuan untuk memperoleh biji edamame yang berkualitas dan memisahkan kotoran atau biji rusak.

2) *Blanching*

Kacang edamame dilakukan perebusan menggunakan air selama 3-5 menit dengan suhu 90-95°C untuk menghilangkan bau langu khas kacang-kacangan dan mempertahankan warna hijau pada edamame.

3) Penirisan

Setelah dilakukan perebusan, kacang edamame ditiriskan untuk menghilangkan sisa air rebusan.

4) *Blending*

Kacang edamame ditambahkan air dengan perbandingan 1:3 (b/v) kemudian diblender hingga halus.

5) Penyaringan

Hasil *bleding* kemudian disaring untuk memisahkan ampas dan memperoleh sari edamame.

6) Pencampuran I

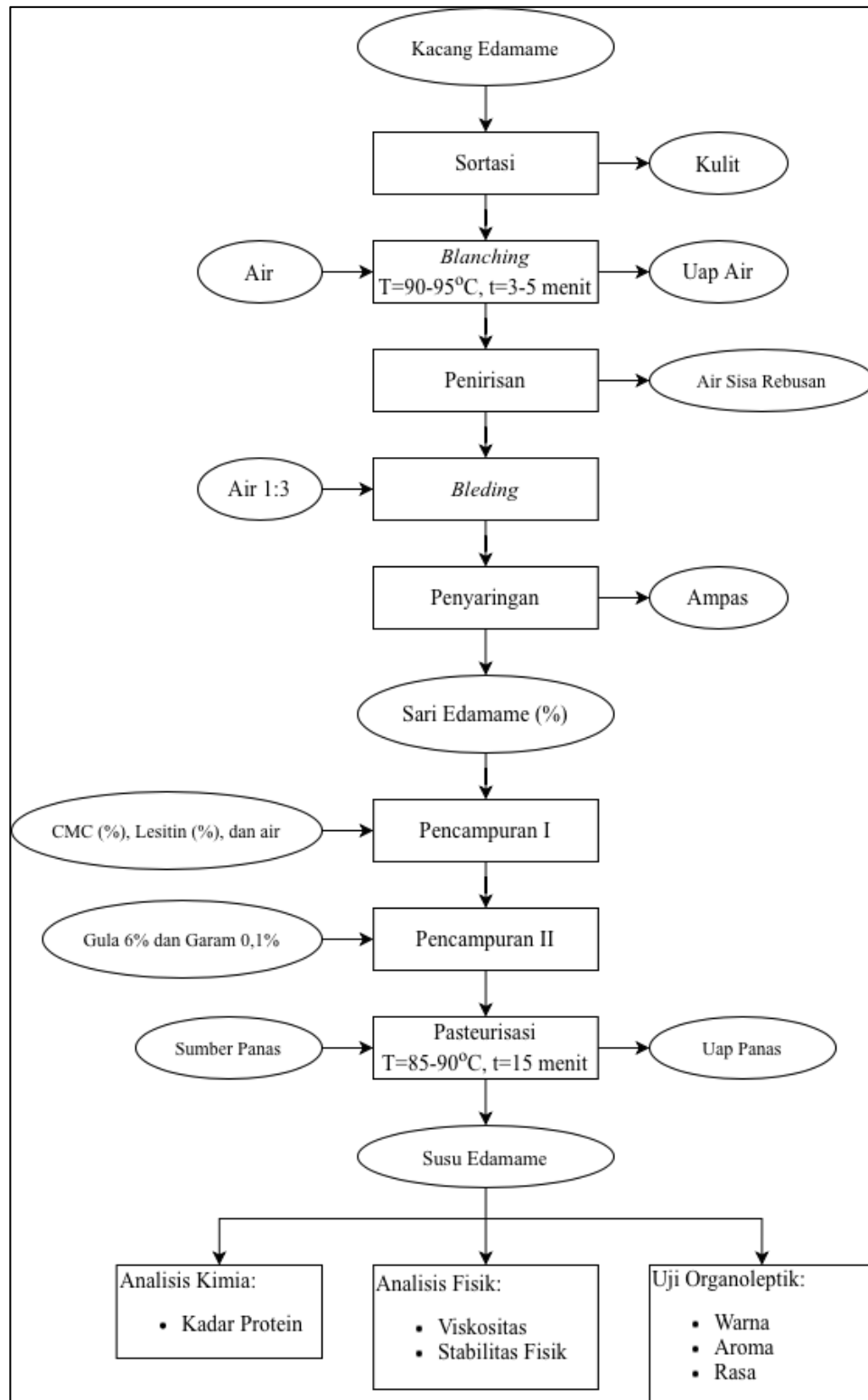
Sari edamame (%), CMC (%), dan lesitin (%) ditambahkan sesuai dengan formulasi telah ditentukan pada *Design Expert* 13, kemudian tambahkan air dan dicampur hingga homogen.

7) Pencampuran II

Setelah campuran homogen, ditambahkan gula 6% dan garam 0,1% kedalam campuran.

8) Pasteurisasi

Campuran kemudian dipasteurisasi dengan suhu 85-90 °C selama 15 menit. Proses ini bertujuan untuk menjaga keamanan minuman tanpa menyebabkan kerusakan pada produk.



(Sumber: Setyani et al., 2022: Dengan Modifikasi)

Gambar 7. Diagram Alir Pembuatan Minuman Protein Edamame

3.4. Jadwal Pelaksanaan Penelitian

Tabel 6. Jadwal Pelaksanaan Penelitian

Kegiatan	Bulan						
	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus
Penyusunan Proposal dan Bimbingan							
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. Penelitian Pendahuluan, 4.2. Penelitian Utama, dan 4.3. Formulasi Optimal.

4.1. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui kadar protein dan lemak pada bahan baku yaitu edamame.

4.1.1. Kadar Protein

Analisis kadar protein menggunakan metode kjedahl dilakukan untuk mengetahui kadar protein yang terdapat pada bahan baku edamame sebagai bahan baku dalam pembuatan minuman protein.

Tabel 7. Hasil Penelitian Pendahuluan Kadar Protein

Sampel	Kadar Protein (%)
Edamame	12,48%

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode kjedahl, kadar protein pada bahan baku edamame yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh sebesar 12,48%. Nilai tersebut menunjukkan edamame memiliki kandungan protein yang relatif tinggi sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan minuman protein. Hasil penelitian pendahuluan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh Nadhiroh et al. (2017), nilai kadar protein yang diperoleh sebesar 14,27%. Perbedaan hasil kadar protein tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya sumber bahan baku yang berbeda, penanganan pasca panen, kondisi lingkungan budi daya, penyimpanan bahan baku dan metode analisis yang digunakan.

4.1.2. Kadar Lemak

Analisis kadar lemak pada penelitian pendahuluan dilakukan untuk mengetahui kadar lemak pada edamame sebelum digunakan dalam proses pembuatan minuman.

Tabel 8. Hasil Penelitian Pendahuluan Kadar Lemak

Sampel	Kadar Lemak (%)
Edamame	5,81%

Berdasarkan hasil analisis kadar lemak dengan menggunakan metode soxhlet, kadar lemak edamame diperoleh sebesar 5,81%. Pada penelitian sebelumnya oleh Nadhiroh et al., (2017), nilai kadar lemak biji edamame yang diperoleh sebesar 2,66%. Adanya kandungan lemak pada bahan baku akan berpengaruh terhadap karakteristik fisik terutama pembentukan sistem emulsi. Untuk membentuk sistem emulsi yang baik digunakan lesitin sebagai emulsifier pada penelitian utama. Lesitin memiliki gugus hidrofilik yang berikatan dengan air dan gugus hidrofobik yang berikatan dengan lemak sehingga lesitin mampu menurunkan tegangan permukaan pada suatu sistem emulsi agar menjadi homogen dan stabil (Suseno et al., 2025a).

4.2. Penelitian Utama

4.2.1. Respon Kimia

4.2.1.1. Kadar Protein

Protein merupakan senyawa organik kompleks yang memiliki berat molekul tinggi. Senyawa ini tersusun atas rantai polimer asam amino, dimana setiap asam amino saling terikat melalui ikatan peptida (Hetrik et al., 2024). Analisis protein bertujuan untuk menentukan kadar protein yang terkandung dalam suatu

bahan pangan. Terdapat berbagai metode yang dapat digunakan untuk analisis protein secara kuantitatif, salah satunya metode kjedahl. Metode ini didasarkan pada penentuan kadar nitrogen yang terdapat dalam produk. Melalui proses destruksi, bahan diuraikan sehingga unsur nitrogen terlepas dari senyawa penyusunnya. Jumlah nitrogen yang terbebaskan ditentukan secara kuantitatif dengan menggunakan metode titrasi. Nilai nitrogen yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung kadar protein (Harini et al., 2019). Berikut hasil analisis kadar protein pada 15 formulasi dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Hasil Analisis Kadar Protein (%)

Run	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Respon 1
	Konsentrasi Sari Edamame (%)	Konsentrasi CMC (%)	Konsentrasi Lesitin (%)	Kadar Protein (%)
1	70	0,2	2	4,64
2	70	0,3	1	6,37
3	75	0,25	2	8,69
4	65	0,2	1,5	2,95
5	65	0,3	1,5	5,94
6	70	0,25	1,5	7,43
7	70	0,2	1	4,02
8	70	0,3	2	8,89
9	75	0,2	1,5	8,66
10	70	0,25	1,5	7,00
11	75	0,25	1	7,63
12	75	0,3	1,5	8,91
13	65	0,25	2	3,18
14	70	0,25	1,5	8,06
15	65	0,25	1	2,54

Berdasarkan hasil dari 15 formulasi minuman protein edamame, kadar protein yang paling rendah sebesar 2,54% run ke-15 dan yang paling tinggi sebesar

8,91% run ke-12. Pada respon kadar protein model ANOVA yang disarankan oleh *Design Expert* yaitu model linear.

Tabel 10. ANOVA Kadar Protein

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-value</i>	<i>p-value</i>	
Model	61,50	3	20,50	17,20	0,0002	<i>significant</i>
A-sari edamame	46,46	1	46,46	38,98	<0,0001	
B-CMC	12,10	1	12,10	10,15	0,0087	
C-Lesitin	2,93	1	2,93	2,46	0,1453	
Residual	13,11	11	1,19			
<i>Lack of Fit</i>	12,54	9	1,39	4,90	0,1808	<i>not significant</i>
<i>Pure Error</i>	0,5685	2	0,2842			
Cor Total	74,61	14				

Dari tabel ANOVA tersebut, model nilai F sebesar 17,20 dan nilai *p-value* 0,0002 menunjukkan bahwa model tersebut signifikan ($p < 0,05$). Nilai F *lack of fit* sebesar 4,90 dengan *p-value* 0,1808 menunjukkan tidak signifikan model dengan data (*lack of fit* $> 0,05$). Nilai *lack of fit* yang tidak signifikan menunjukkan bahwa model yang memiliki kesesuaian baik dengan data sehingga model dapat menggambarkan hubungan antara faktor dan respon (Ramadhani et al., 2017).

Tabel 11. *Fit Statistics* Kadar Protein

Std. Dev	1,09		R²	0,8243
Mean	6,33		Adjusted R²	0,7763
C.V. %	17,25		Predicted R²	0,6859
			Adeq Presicion	12,9130

Fit statistics digunakan untuk mengetahui kemampuan model dalam menjelaskan variasi data yang ditunjukkan oleh nilai R² yaitu sebesar 0,8243, nilai tersebut menggambarkan sejauh mana model dapat memperkirakan data eksperimen dengan sempurna dan disesuaikan dengan mengukur jumlah variasi tentang rata-rata yang dijelaskan oleh model (Behera et al., 2018). Didapatkan nilai

predicted R² sebesar 0,6859 dan *adjusted R²* sebesar 0,7763 dengan selisih keduanya kurang dari 0,2 yang menandakan bahwa sesuai atau signifikan. Jika nilai *R²* mendekati 1 menunjukkan model tersebut disarankan, sedangkan nilai *adjusted R²* dan *predicted R²* menandakan nilai yang sesuai karena memiliki selisih kurang dari 0,2. Nilai *adeq presicion* sebesar 12,9130 yang melebihi nilai 4 menunjukkan bahwa model memiliki sinyal yang memadai. Hal tersebut mengindikasikan bahwa model mampu digunakan untuk menavigasi ruang desain (*design space*) dengan baik. Nilai *adeq presicion* untuk mengukur perbandingan antara rasio *signal* dan *noise*, dimana nilai yang lebih dari 4 menunjukkan bahwa model memiliki *signal* kuat sehingga tidak dipengaruhi *noise* (Risiana et al., 2021). Persamaan model matematika untuk analisis kadar protein terdapat pada persamaan dibawah ini:

$$Y = 2,41A + 1,23B + 0,6050C + 6,33$$

Keterangan:

A = Sari edamame

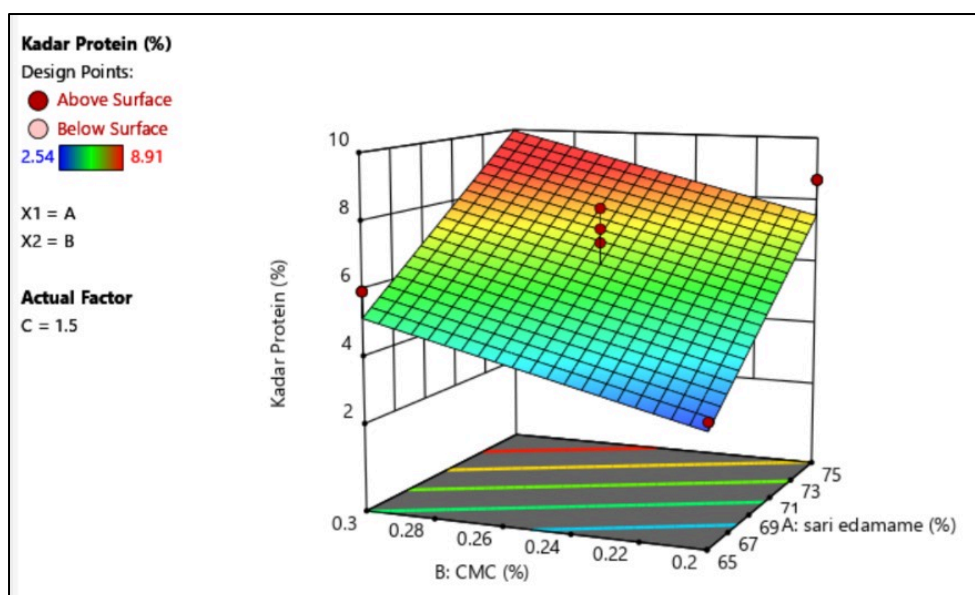
B = CMC

C = Lesitin

Berdasarkan persamaan linear diatas, seluruh faktor yaitu sari edamame (A), CMC (B), dan lesitin (C) memiliki koefisien bernilai positif yang menunjukkan bahwa berpengaruh terhadap peningkatan kadar protein produk. Diantara ketiga faktor tersebut, sari edamame memberikan pengaruh paling besar terhadap peningkatan kadar protein yang ditunjukkan oleh nilai koefisien faktor A sebesar 2,49 lebih tinggi dibandingkan dengan koefisien faktor lainnya. Hal tersebut terjadi

karena sari edamame merupakan sumber utama protein dalam formulasi minuman (Sutrisno et al., 2019).

Pengaruh interaksi antarvariabel terhadap respon dapat divisualisasikan melalui grafik 3D. Grafik tersebut menggambarkan konfigurasi permukaan respon sekaligus menunjukkan besarnya nilai melalui gradasi warna. Warna yang mendekati merah menunjukkan respon yang lebih tinggi, sedangkan warna yang mendekati biru menunjukkan respon yang lebih rendah (Istianah et al., 2025; Reji & Kumar, 2022).



Gambar 8. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan CMC terhadap Kadar Protein

Berdasarkan gambar 8, grafik tiga dimensi interaksi antara konsentrasi sari edamame dan CMC dapat meningkatkan kadar protein produk seiring bertambahnya faktor tersebut. Hal tersebut ditunjukkan oleh permukaan grafik yang semakin tinggi disertai perubahan warna biru-hijau menjadi kuning hingga merah seiring peningkatan konsentrasi kedua faktor. Kemiringan permukaan grafik menunjukkan bahwa peningkatan sari edamame memberikan peningkatan kadar protein yang lebih dominan dibandingkan peningkatan konsentrasi CMC.

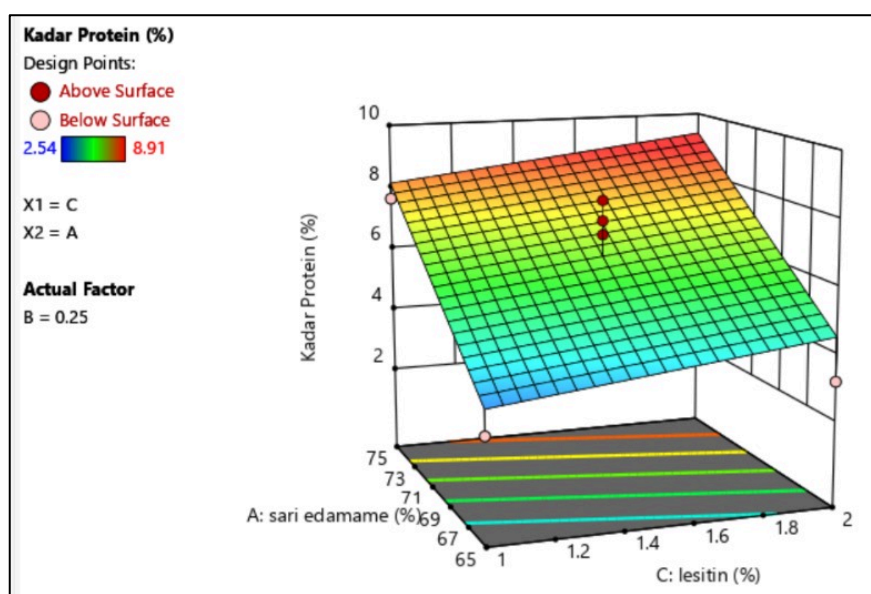
Peningkatan proporsi edamame yang digunakan menyebabkan kandungan protein produk semakin tinggi karena edamame memiliki kandungan protein yang relatif tinggi. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Tio Larosta et al. (2019), melaporkan bahwa peningkatan proporsi edamame pada pembuatan susu jagung manis edamame berpengaruh terhadap kandungan kadar protein produk. Kedelai merupakan salah satu jenis kacang-kacangan yang memiliki kandungan protein yang paling tinggi (Hasanah et al., 2020).

Berdasarkan penelitian pendahuluan, kandungan protein pada bahan baku edamame, yaitu 12,48%. Terjadi penurunan kadar protein dari bahan baku edamame menjadi produk minuman disebabkan oleh proses pasteurisasi selama pengolahan. Pemanasan pada proses pasteurisasi dapat menyebabkan denaturasi protein atau perubahan struktur protein sehingga kandungan kandungan protein produk akhir menjadi lebih rendah dibandingkan bahan bakunya (Sutrisno et al., 2019). Denaturasi tersebut terjadi akibat berkurangnya ikatan antara kation dan protein serta terputusnya ikatan fosfat koloid yang menyebabkan kadar protein menurun (Rukmana et al., 2023). Kadar protein juga dipengaruhi oleh formulasi produk yaitu jenis bahan baku dan jumlah air yang ditambahkan. Penambahan air selama proses pengolahan dapat menyebabkan pengenceran sehingga konsentrasi protein dalam produk menjadi lebih rendah (Sabariman et al., 2022).

Kadar protein pada produk minuman edamame dalam penelitian ini juga dipengaruhi oleh penambahan CMC (*Carboxymethyl Cellulose*). CMC merupakan senyawa hidrokoloid berbentuk serbuk berwarna putih dan tidak beraroma yang berfungsi sebagai pembentuk tekstur sehingga menghasilkan struktur produk yang

lebih stabil (Risandi et al., 2023). Penambahan CMC sebagai bahan penstabil dapat menghambat pengendapan protein serta mencegah terjadinya retrogradasi dan pengendapan pada titik isoelektrik protein. Kondisi tersebut disebabkan adanya interaksi antara gugus karboksil pada CMC dengan gugus bermuatan positif pada protein (Susi et al., 2024). Interaksi tersebut membantu mempertahankan protein dalam matriks produk dan mengurangi pengendapan selama proses pengolahan (Aristawidya et al., 2026).

Hasil ini sejalan dengan penelitian susu jagung bergerminasi yang menunjukkan bahwa penambahan CMC mampu mempertahankan protein selama proses pemasakan melalui interaksinya dengan protein (Setiawati et al., 2021). Abdullah & Mutia (2020) juga menyatakan bahwa CMC dapat membentuk ikatan nonkovalen dengan rantai polipeptida yang berkontribusi terhadap meningkatnya retensi nitrogen pada glikoprotein. Hal tersebut menyebabkan kadar protein yang terukur dalam produk cenderung lebih tinggi.



Gambar 9. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan Lesitin terhadap Kadar Protein

Berdasarkan gambar 9, grafik tiga dimensi interaksi antara konsentrasi sari edamame dan lesitin dapat meningkatkan kadar protein produk seiring bertambahnya faktor tersebut. Hal tersebut ditunjukkan oleh permukaan grafik yang semakin tinggi disertai perubahan warna dari biru hingga merah seiring peningkatan konsentrasi kedua faktor. Kemiringan permukaan grafik menunjukkan bahwa peningkatan sari edamame yang lebih dominan dibandingkan peningkatan konsentrasi lesitin.

Lesitin merupakan salah satu fosfolipid yang berasal dari kedelai dan banyak dimanfaatkan sebagai pengemulsi dalam berbagai produk pangan (Puspitasari et al., 2018). Pada lesitin tidak terdapat kandungan protein yang dapat memberikan kontribusi terhadap kadar protein produk (Anugrahati & Wijaya, 2023). Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian pada produk coklat yang menunjukkan bahwa penggunaan emulsifier berbeda, termasuk lesitin tidak memberikan perbedaan yang signifikan terhadap kadar protein produk. Meskipun lesitin mengandung fosfolipid dan sejumlah kecil protein, kandungan tersebut relatif rendah sehingga perubahan konsentrasi lesitin tidak memberikan kontribusi terhadap kadar protein produk (Zulfa et al., 2025).

Secara keseluruhan kadar protein minuman edamame yang dihasilkan telah memenuhi persyaratan mutu SNI nomor 01-3830-1995 tentang susu kedelai yaitu memiliki kadar protein minimal 2%. Kadar protein minuman edamame pada penelitian ini berada di atas batas minimum yang dipersyaratkan sehingga formulasi yang digunakan mampu menghasilkan produk dengan kandungan protein yang memenuhi standar.

4.2.2. Respon Fisik

4.2.2.1. Viskositas

Viskositas merupakan parameter yang menunjukkan tingkat kekentalan suatu fluida sebagai akibat dari gaya gesek antarmolekul dan gaya kohesi dalam zat cair. Besarnya nilai viskositas dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti suhu, berat molekul, konsentrasi larutan, dan tekanan. Kekentalan cairan yang terbentuk selama proses pengolahan merupakan salah satu faktor yang memengaruhi mutu produk akhir (Rahayu et al., 2026).

Viskositas zat cair terjadi disebabkan adanya gaya kohesi yaitu gaya tarik-menarik antara molekul-molekul sejenis di dalam cairan. Semakin besar gaya kohesi yang bekerja, semakin kuat ikatan antarmolekul sehingga pergerakan molekul menjadi lebih lambat. Kondisi tersebut menyebabkan aliran cairan semakin terhambat dan tingkat kekentalannya meningkat (Wahyuningrum et al., 2025).

Pengukuran viskositas diukur dengan menggunakan *Brookfield Viscometer*. Alat ini bekerja dengan mengukur tingkat kekentalan suatu sampel cair berdasarkan hambatan yang diberikan sampel terhadap putaran *spindle*. Semakin tinggi nilai viskositas suatu sediaan, semakin besar pula hambatan aliran yang dimilikinya sehingga cairan akan semakin kental (Sulistiyono et al., 2022). Viskositas dinyatakan dalam satuan centiPoise (cP). Besar nilainya yang ditunjukkan oleh jarum viskometer berbanding lurus dengan tingkat kekentalan cairan sehingga semakin tinggi nilai yang diperoleh semakin kental sampel tersebut (Rahayu et al., 2026).

Perbedaan viskositas suatu produk tidak hanya dipengaruhi oleh sifat fisik fluida, tetapi juga oleh jenis bahan baku yang digunakan dalam formulasi. Perbedaan viskositas antara susu nabati dan susu hewani dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya kandungan lemak dan jenis bahan baku penyusunnya. Meskipun keduanya memiliki viskositas yang relatif sebanding, secara umum susu hewani cenderung memiliki viskositas yang lebih rendah dibandingkan susu nabati (Hizmadin et al., 2023). Berikut hasil analisis viskositas 15 formulasi dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12. Hasil Analisis Viskositas (cP)

Run	Faktor 1 Konsentrasi Sari Edamame (%)	Faktor 2 Konsentrasi CMC (%)	Faktor 3 Konsentrasi Lesitin (%)	Respon 2 Viskositas (cP)
1	70	0,2	2	319,5
2	70	0,3	1	391
3	75	0,25	2	407
4	65	0,2	1,5	318
5	65	0,3	1,5	387,5
6	70	0,25	1,5	362
7	70	0,2	1	297
8	70	0,3	2	409
9	75	0,2	1,5	346
10	70	0,25	1,5	370
11	75	0,25	1	386
12	75	0,3	1,5	415,5
13	65	0,25	2	350
14	70	0,25	1,5	367
15	65	0,25	1	348

Berdasarkan hasil dari 15 formulasi minuman protein edamame, viskositas yang paling rendah sebesar 297 cP run ke-7 dan yang paling tinggi sebesar 415,5

cP run ke-12. Pada respon viskositas model ANOVA yang disarankan oleh *Design Expert* yaitu model linear.

Tabel 13. ANOVA Viskositas

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-value</i>	<i>p-value</i>	
Model	16354,94	3	5451,65	44,93	<0,0001	<i>significant</i>
A-sari edamame	2850,12	1	2850,12	23,49	0,0005	
B-CMC	13000,78	1	13000,78	107,15	<0,0001	
C-Lesitin	504,03	1	504,03	4,15	0,0663	
Residual	1334,66	11	121,33			
<i>Lack of Fit</i>	1302,00	9	144,67	8,86	0,1055	<i>not significant</i>
<i>Pure Error</i>	32,67	2	16,33			
Cor Total	17689,60	14				

Dari tabel ANOVA tersebut, model nilai F sebesar 44,93 dan nilai *p-value* <0,0001 menunjukkan bahwa model tersebut signifikan ($p < 0,05$). Nilai F *lack of fit* sebesar 8,86 dengan *p-value* 0,1055 menunjukan tidak signifikan model dengan data (*lack of fit* >0,05). Nilai *lack of fit* yang tidak signifikan menunjukan bahwa model yang memiliki kesesuaian baik dengan data sehingga model dapat menggambarkan hubungan antara faktor dan respon (Ramadhani et al., 2017).

Tabel 14. *Fit Statistics* Viskositas

Std. Dev	11,02		R²	0,9246
Mean	364,90		Adjusted R²	0,9040
C.V. %	3,02		Predicted R²	0,8406
			Adeq Presicion	20,8107

Fit statistics digunakan untuk mengetahui kemampuan model dalam menjelaskan variasi data yang ditunjukkan oleh nilai R² yaitu sebesar 0,9246, nilai tersebut menggambarkan sejauh mana model dapat memperkirakan data eksperimen dengan sempurna dan disesuaikan dengan mengukur jumlah variasi tentang rata-rata yang dijelaskan oleh model (Behera et al., 2018). Didapatkan nilai

predicted R^2 sebesar 0,8406 dan *adjusted* R^2 sebesar 0,9040 dengan selisih keduanya kurang dari 0,2 yang menandakan bahwa sesuai atau signifikan. Jika nilai R^2 mendekati 1 menunjukkan model tersebut disarankan, sedangkan nilai *adjusted* R^2 dan *predicted* R^2 menandakan nilai yang sesuai karena memiliki selisih kurang dari 0,2. Nilai *adeq presicion* sebesar 20,8107 yang melebihi nilai 4 menunjukkan bahwa model memiliki sinyal yang memadai. Hal tersebut mengindikasikan bahwa model mampu digunakan untuk menavigasi ruang desain (*design space*) dengan baik. Nilai *adeq presicion* untuk mengukur perbandingan antara rasio *signal* dan *noise*, dimana nilai yang lebih dari 4 menunjukkan bahwa model memiliki *signal* kuat sehingga tidak dipengaruhi *noise* (Risiana et al., 2021). Persamaan model matematika untuk analisis viskositas terdapat pada persamaan dibawah ini:

$$Y = 18,87A + 40,31B + 7,94C + 364,90$$

Keterangan:

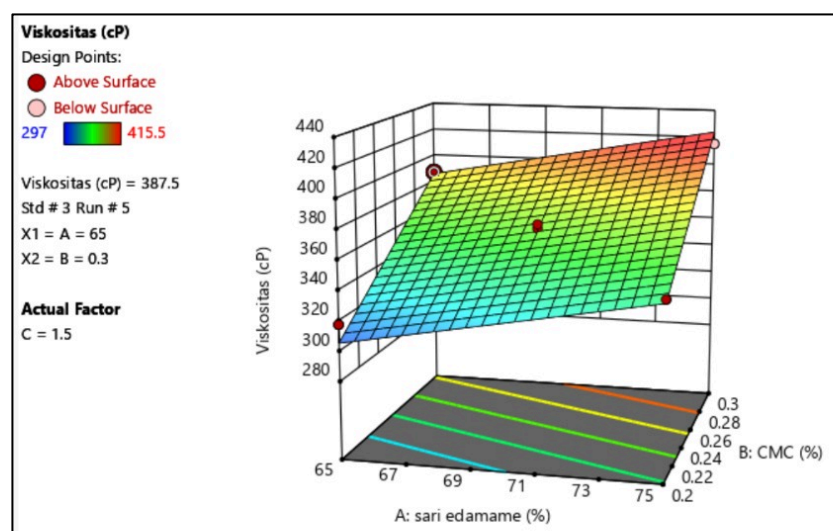
A = Sari edamame

B = CMC

C = Lesitin

Berdasarkan persamaan linear diatas, seluruh faktor yaitu sari edamame (A), CMC (B), dan lesitin (C) memiliki koefisien bernilai positif yang menunjukkan bahwa berpengaruh terhadap peningkatan viskositas produk. Diantara ketiga faktor tersebut, CMC memberikan pengaruh paling besar terhadap peningkatan viskositas yang ditunjukan oleh nilai koefisien faktor B sebesar 40,31 lebih tinggi dibandingkan dengan koefisien faktor lainnya.

Pengaruh interaksi antarvariabel terhadap respon dapat divisualisasikan melalui grafik 3D. Grafik tersebut menggambarkan konfigurasi permukaan respon sekaligus menunjukkan besarnya nilai melalui gradasi warna. Warna yang mendekati merah menunjukkan respon yang lebih tinggi, sedangkan warna yang mendekati biru menunjukkan respon yang lebih rendah (Istianah et al., 2025; Reji & Kumar, 2022).



Gambar 10. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan CMC terhadap Viskositas

Berdasarkan gambar 10, grafik tiga dimensi interaksi antara konsentrasi sari edamame dan CMC menunjukkan bahwa peningkatan faktor tersebut menyebabkan nilai viskositas semakin meningkat. Hal tersebut ditunjukkan oleh permukaan grafik yang semakin tinggi ditandai dengan perubahan warna dari biru hingga merah. Warna biru menunjukkan nilai viskositas yang rendah, sedangkan warna merah menunjukkan nilai viskositas yang tinggi. Kemiringan permukaan grafik menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi kedua faktor memberikan pengaruh

terhadap peningkatan nilai viskositas dengan CMC menghasilkan kenaikan viskositas yang lebih besar dibandingkan peningkatan konsentrasi sari edamame.

CMC merupakan senyawa hidrokoloid berbentuk serbuk, berwarna putih, dan tidak beraroma yang umum dimanfaatkan dalam industri pangan. CMC berfungsi untuk memperbaiki tekstur pada produk sehingga menghasilkan struktur yang lebih padat (Risandi et al., 2023). Penggunaan CMC dalam industri pangan yang bertujuan untuk menghasilkan tekstur produk yang lebih baik. Senyawa ini berfungsi sebagai pengental, penstabil, sekaligus pembentuk gel. Sebagai pengemulsi, CMC berperan dalam memperbaiki tekstur produk terutama pada produk dengan kandungan padatan yang tinggi. Selain itu, CMC berfungsi sebagai pengental dengan cara mengikat air sehingga molekul-molekul air terperangkap di dalam struktur gel yang dibentuk oleh CMC (Setiawati et al., 2021).

Kemampuan CMC sebagai penstabil emulsi berkaitan dengan sifatnya yang mampu mengikat air dalam jumlah besar. CMC akan menyerap air dan mengalami pembengkakan, kemudian membentuk jaringan gel tiga dimensi yang mampu memerangkap molekul air di dalam matriksnya. Akibatnya jumlah air bebas dalam sistem berkurang menyebabkan molekul air menurun dan viskositas produk meningkat karena kekentalannya semakin tinggi (Sutrisno et al., 2019; Jamaludin et al., 2024).

Penelitian ini sejalan dengan penelitian pada susu kecambah kedelai yang menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi CMC menyebabkan viskositas produk semakin tinggi. Peningkatan tersebut berkaitan dengan kemampuan CMC membentuk ikatan silang antarmolekul polimer yang memerangkap pelarut

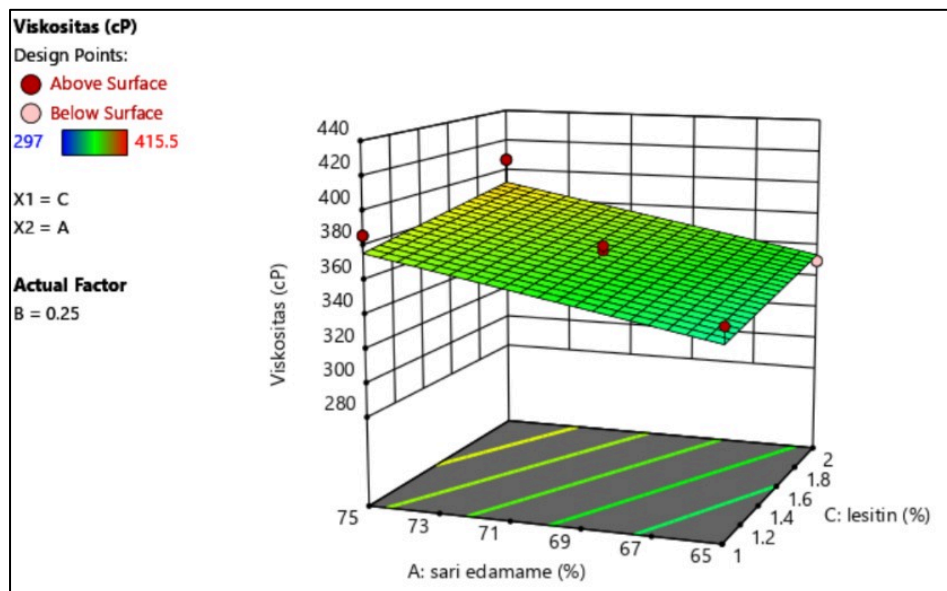
sehingga mobilitasnya berkurang (Utomo & Rizkiyah, 2020). Hasil yang sama dengan penelitian oleh Sutrisno et al. (2019), pada minuman edamame dengan perbandingan sari edamame dan sari black mulberry yang tetap, dimana peningkatan konsentrasi CMC sebagai bahan penstabil meningkatkan nilai viskositas. Kondisi ini berkaitan dengan bertambahnya bobot molekul dalam sistem akibat penambahan CMC (A. Anggraini & Yuniarta, 2015; Jamaludin et al., 2024).

Peningkatan nilai viskositas menunjukkan bahwa produk memiliki tingkat kekentalan yang lebih tinggi. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh meningkatnya kandungan bahan terlarut yang menyebabkan total padatan dalam produk bertambah sehingga viskositas produk ikut meningkat (Sabariman et al., 2022).

Kandungan protein juga berperan dalam menentukan viskositas produk. Produk yoghurt dengan bahan dasar susu sapi, dapat memengaruhi viskositas karena adanya keberadaan protein terutama kasein yang membentuk misel serta globula lemak yang terdapat dalam susu. Semakin tinggi kandungan protein pada bahan baku susu, semakin tinggi pula viskositas yoghurt yang dihasilkan (A. Anggraini & Yuniarta, 2015; Jamaludin et al., 2024). Peningkatan viskositas ini berkaitan dengan distribusi molekul protein di dalam larutan dan berat molekul protein yang berhubungan dengan panjang rantai peptida sehingga mempengaruhi karakteristik aliran produk (Rohman & Maharani, 2020).

Penelitian susu jagung manis edamame menunjukkan bahwa peningkatan proporsi edamame menyebabkan viskositas produk semakin tinggi. Kondisi ini dipengaruhi oleh kandungan karbohidrat kompleks berupa pati pada edamame. Pati

memiliki kemampuan mengalami gelatinisasi selama proses pemanasan yang menyebabkan peningkatan viskositas. Maka semakin besar proporsi edamame yang digunakan, semakin tinggi pula viskositas produk yang dihasilkan. Kandungan tersebut kemudian berinteraksi dengan CMC sebagai bahan penstabil yang mampu meningkatkan viskositas produk (Tio Larosta et al., 2019).



Gambar 11. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan Lesitin terhadap Viskositas

Berdasarkan gambar 11, grafik tiga dimensi interaksi antara konsentrasi sari edamame dan lesitin menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi edamame menyebabkan nilai viskositas semakin meningkat. Peningkatan konsentrasi lesitin memberikan peningkatan yang relatif kecil terhadap respon viskositas. Hal tersebut ditunjukkan oleh permukaan grafik yang semakin tinggi disertai perubahan warna dari hijau menjadi kuning seiring peningkatan konsentrasi kedua faktor. Kemiringan permukaan grafik menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi sari edamame memberikan peningkatan viskositas yang lebih dominan dibandingkan peningkatan konsentrasi lesitin.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa kisaran konsentrasi yang digunakan, lesitin tidak memberikan pengaruh nyata terhadap viskositas. Fungsi utama lesitin adalah sebagai emulsifier yang berperan dalam menstabilkan dispersi minyak dan air. Peran lesitin sebagai zat pengemulsi mampu menurunkan tegangan permukaan sehingga emulsi menjadi lebih menyatu tanpa meningkatkan viskositas secara signifikan (Fitriyaningtyas & Widyaningsih, 2015).

4.2.2.2. Stabilitas Fisik

Stabilitas fisik merupakan parameter yang digunakan untuk mengevaluasi kemampuan suatu produk dalam mempertahankan karakteristik fisiknya selama penyimpanan. Evaluasi tersebut dilakukan dengan mengamati perubahan sifat fisik produk yang dapat terjadi akibat pengaruh waktu atau lama penyimpanan. Produk yang memiliki stabilitas fisik yang baik akan mampu mempertahankan karakteristiknya tanpa mengalami perubahan fisik yang signifikan (Alif et al., 2024). Salah satu perubahan fisik yang sering diamati adalah terjadinya sedimentasi, yaitu proses pengendapan partikel padat yang semula terdispersi dalam sistem, larutan atau cairan (Tsuraya et al., 2024).

Pengujian stabilitas fisik dilakukan dengan metode sentrifugasi. Metode ini memisahkan komponen campuran berdasarkan perbedaan densitas melalui pemberian gaya sentrifugal. Pada proses ini, sampel cair atau suspensi diputar pada kecepatan tertentu sehingga partikel dengan massa jenis lebih besar terdorong menjadi pusat putaran dan mengendap di dinding tabung, sedangkan partikel dengan massa jenis lebih kecil tetap berada pada fase cair (Maulana et al., 2026).

Penambahan bahan penstabil berperan dalam mengurangi terjadinya pengendapan serta mempertahankan stabilitas produk selama penyimpanan. Kemampuan tersebut berkaitan dengan sifat bahan penstabil yang mampu mempertahankan partikel terdispersi secara merata di dalam medium pendispersi. Pada sistem pangan cair, bahan penstabil membantu meningkatkan interaksi antar komponen penyusun produk sehingga konsistensi tetap terjaga dan kecenderungan partikel untuk bergabung maupun mengendap dapat diminimalkan (Amelia et al., 2021).

Kestabilan dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya ukuran partikel, jenis, dan konsentrasi pengemulsi, perbedaan densitas antar fase, pergerakan partikel, serta viskositas fase eksternal (Susilawati et al., 2016).

Hasil tersebut sejalan dengan karakteristik minuman nabati seperti susu kedelai yang stabilitasnya ditunjukkan oleh kemampuan produk untuk mempertahankan kekentalan dan teksturnya selama penyimpanan. Kemampuan tersebut berkaitan dengan daya ikat terhadap kadar air serta interaksinya dengan molekul gula yang berkontribusi terhadap terjaganya karakteristik fisik susu kedelai (Mustofa et al., 2024). Berikut hasil analisis stabilitas fisik pada 15 formulasi dapat dilihat pada tabel 15.

Tabel 15. Hasil Analisis Stabilitas Fisik (%)

Run	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Respon 3
	Konsentrasi Sari Edamame (%)	Konsentrasi CMC (%)	Konsentrasi Lesitin (%)	Stabilitas Fisik (%)
1	70	0,2	2	72
2	70	0,3	1	79,33
3	75	0,25	2	80,17
4	65	0,2	1,5	69,83

Run	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Respon 3
	Konsentrasi Sari Edamame (%)	Konsentrasi CMC (%)	Konsentrasi Lesitin (%)	Stabilitas Fisik (%)
5	65	0,3	1,5	81,50
6	70	0,25	1,5	76,67
7	70	0,2	1	71,67
8	70	0,3	2	82,50
9	75	0,2	1,5	74,50
10	70	0,25	1,5	77,50
11	75	0,25	1	78,33
12	75	0,3	1,5	83,83
13	65	0,25	2	75,67
14	70	0,25	1,5	77
15	65	0,25	1	72,83

Berdasarkan hasil dari 15 formulasi minuman protein edamame, stabilitas fisik yang paling rendah sebesar 69,83% run ke-4 dan yang paling tinggi sebesar 83,83% run ke-12. Pada respon stabilitas fisik model ANOVA yang disarankan oleh *Design Expert* yaitu model linear.

Tabel 16. ANOVA Stabilitas Fisik

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-value</i>	<i>p-value</i>	
Model	236,18	3	78,73	100,50	<0,0001	<i>significant</i>
A-sari edamame	36,13	1	36,13	46,12	<0,0001	
B-CMC	191,69	1	191,69	244,70	<0,0001	
C-Lesitin	8,36	1	8,36	10,68	0,0075	
Residual	8,62	11	0,7834			
<i>Lack of Fit</i>	8,27	9	0,9186	5,26	0,1699	<i>not significant</i>
<i>Pure Error</i>	0,3493	2	0,1746			
Cor Total	244,79	14				

Dari tabel ANOVA tersebut, model nilai F sebesar 100,50 dan nilai *p-value* <0,0001 menunjukkan bahwa model tersebut signifikan ($p < 0,05$). Nilai F *lack of fit* sebesar 5,26 dengan *p-value* 0,1699 menunjukkan tidak signifikan model dengan

data (*lack of fit* $>0,05$). Nilai *lack of fit* yang tidak signifikan menunjukkan bahwa model yang memiliki kesesuaian baik dengan data sehingga model dapat menggambarkan hubungan antara faktor dan respon (Ramadhani et al., 2017).

Tabel 17. *Fit Statistics* Stabilitas Fisik

Std. Dev	0,8851		R²	0,9648
Mean	76,89		Adjusted R²	0,9552
C.V. %	1,15		Predicted R²	0,9264
			Adeq Presicion	30,7187

Fit statistics digunakan untuk mengetahui kemampuan model dalam menjelaskan variasi data yang ditunjukan oleh nilai R² yaitu sebesar 0,9648, nilai tersebut menggambarkan sejauh mana model dapat memperkirakan data eksperimen dengan sempurna dan disesuaikan dengan mengukur jumlah variasi tentang rata-rata yang dijelaskan oleh model (Behera et al., 2018). Didapatkan nilai *predicted R²* sebesar 0,9264 dan *adjusted R²* sebesar 0,9552 dengan selisih keduanya kurang dari 0,2 yang menandakan bahwa sesuai atau signifikan. Jika nilai R² mendekati 1 menunjukkan model tersebut disarankan, sedangkan nilai *adjusted R²* dan *predicted R²* menandakan nilai yang sesuai karena memiliki selisih kurang dari 0,2. Nilai *adeq presicion* sebesar 30,7187 yang melebihi nilai 4 menunjukkan bahwa model memiliki sinyal yang memadai. Hal tersebut mengindikasikan bahwa model mampu digunakan untuk menavigasi ruang desain (*design space*) dengan baik. Nilai *adeq presicion* untuk mengukur perbandingan antara rasio *signal* dan *noise*, dimana nilai yang lebih dari 4 menunjukkan bahwa model memiliki *signal* kuat sehingga tidak dipengaruhi *noise* (Risiana et al., 2021). Persamaan model matematika untuk analisis kestabilan fisik terdapat pada persamaan dibawah ini:

$$Y = 2,12A + 4,90B + 1,02C + 76,89$$

Keterangan:

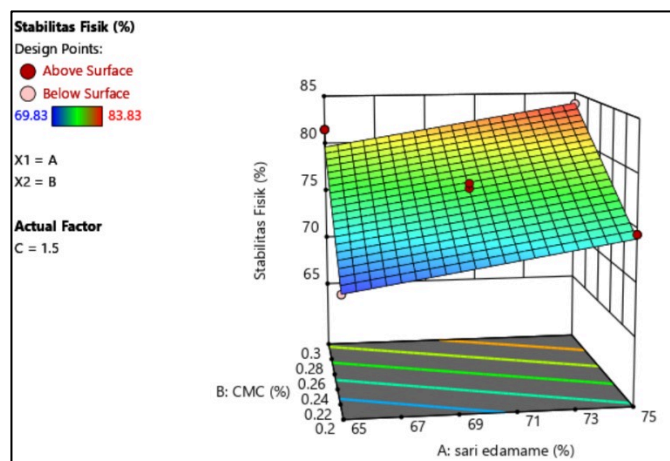
A = Sari edamame

B = CMC

C = Lesitin

Berdasarkan persamaan linear diatas, seluruh faktor yaitu sari edamame (A), CMC (B), dan lesitin (C) memiliki koefisien bernilai positif yang menunjukkan bahwa berpengaruh terhadap peningkatan kestabilan produk. Diantara ketiga faktor tersebut, CMC memberikan pengaruh paling besar terhadap peningkatan stabilitas fisik yang ditunjukan oleh nilai koefisien faktor B sebesar 4,90 lebih tinggi dibandingkan dengan koefisien faktor lainnya.

Pengaruh interaksi antarvariabel terhadap respon dapat divisualisasikan melalui grafik 3D. Grafik tersebut menggambarkan konfigurasi permukaan respon sekaligus menunjukkan besarnya nilai melalui gradasi warna. Warna yang mendekati merah menunjukkan respon yang lebih tinggi, sedangkan warna yang mendekati biru menunjukkan respon yang lebih rendah (Istianah et al., 2025; Reji & Kumar, 2022).



Gambar 12. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan CMC terhadap Stabilitas Fisik

Berdasarkan gambar 12, grafik tiga dimensi interaksi antara konsentrasi sari edamame dan CMC terhadap respon stabilitas fisik menunjukkan peningkatan konsentrasi sari edamame menyebabkan nilai stabilitas fisik semakin meningkat. Peningkatan CMC juga menyebabkan nilai stabilitas fisik semakin meningkat. Hal tersebut ditunjukkan oleh permukaan grafik yang semakin tinggi disertai perubahan warna dari biru menjadi merah seiring peningkatan konsentrasi kedua faktor. Kemiringan permukaan grafik menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi CMC memberikan peningkatan stabilitas fisik yang lebih dominan dibandingkan peningkatan sari edamame.

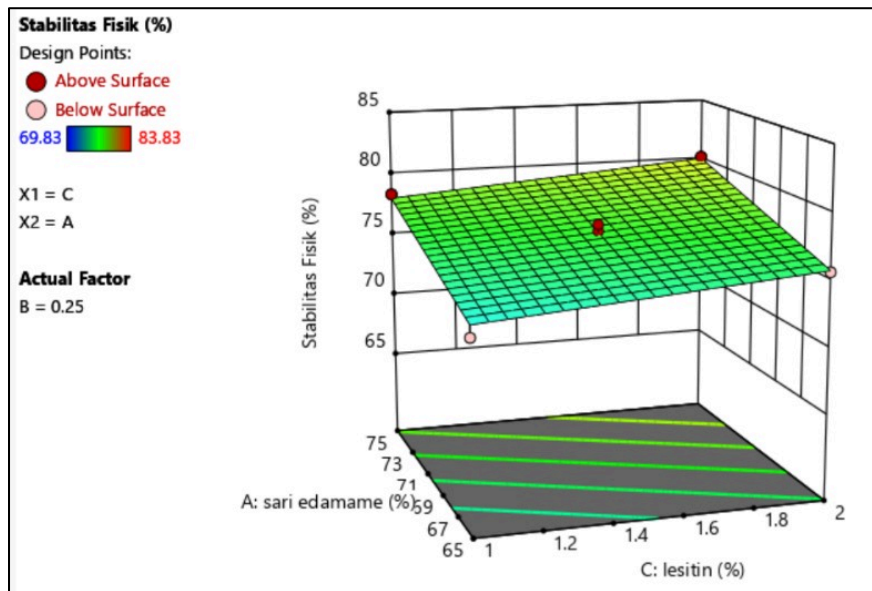
Hasil tersebut berkaitan dengan peran sari edamame sebagai sumber padatan dan protein serta CMC sebagai bahan penstabil dalam minuman. Semakin tinggi konsentrasi sari edamame yang digunakan, semakin tinggi pula kandungan protein dalam sistem. Peningkatan kandungan protein berperan dalam meningkatkan stabilitas koloid melalui pengurangan ukuran partikel, menguatkan jaringan protein, serta meningkatkan kemampuan partikel untuk tetap terdispersi sehingga tidak mudah mengalami agregasi atau koalesensi. Kondisi tersebut menyebabkan partikel tetap tersuspensi dalam fase cair sehingga kecenderungan terjadinya pengendapan menjadi lebih rendah (Klinmalai et al., 2026). Selain itu, peningkatan kandungan protein dan padatan tersuspensi juga berkontribusi terhadap meningkatnya viskositas sistem. Viskositas yang lebih tinggi menyebabkan pergerakan partikel menjadi lebih lambat sehingga laju sedimentasi menurun dan pemisahan fase dapat diminimalkan. Akibatnya, stabilitas fisik minuman menjadi lebih baik (Klinmalai et al., 2025).

Sejalan dengan prinsip uji sedimentasi sebagai salah satu parameter untuk mengevaluasi stabilitas fisik suspensi selama penyimpanan. Volume sedimentasi dipengaruhi oleh viskositas suspensi, semakin tinggi viskositas maka laju pengendapan partikel semakin lambat akibat meningkatnya daya tahan medium terhadap pergerakan partikel. Suspensi dengan viskositas yang lebih tinggi cenderung memiliki stabilitas fisik yang lebih baik (Wijaya & Lina, 2021).

Secara fisikokimia, konsentrasi padatan tersuspensi yang semakin tinggi dapat mempercepat proses pengendapan apabila sistem koloid tidak mampu mempertahankan partikel tetap terdispersi yang menyebabkan partikel mudah mengendap akibat gaya gravitasi (Sarah et al., 2025). Penambahan CMC berperan sebagai bahan penstabil dalam produk minuman karena mampu membentuk sistem dispersi koloid dan meningkatkan viskositas. Peningkatan viskositas tersebut menyebabkan partikel-partikel yang tersuspensi tetap terdispersi dalam sistem sehingga kecenderungan untuk mengendap akibat pengaruh menjadi lebih kecil. CMC juga memiliki kemampuan membentuk gel yang lebih baik dibandingkan dengan gum arab sehingga lebih efektif dalam mempertahankan kestabilan produk (Fitri et al., 2024). Penambahan CMC juga bertujuan menghasilkan sistem yang homogen serta mampu mengurangi terjadinya pengendapan selama penyimpanan (Utomo & Ariska, 2020).

Penelitian pada minuman sari tempe jahe menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi CMC menghasilkan nilai stabilitas yang semakin tinggi. CMC memiliki kemampuan mengikat air, gula, asam organik, serta komponen penyusun lainnya sehingga sistem menjadi lebih stabil (Susi et al., 2024). Hasil serupa juga

memberikan pengaruh nyata terhadap presentase stabilitas. Peningkatan stabilitas tersebut diduga berkaitan dengan sifat anionik CMC yang mampu berinteraksi dengan protein dan membentuk kompleks yang larut serta stabil (Simanungkalit & Nasution, 2023).



Gambar 13. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan Lesitin terhadap Stabilitas Fisik

Berdasarkan gambar 13, grafik tiga dimensi interaksi antara konsentrasi sari edamame dan lesitin terhadap respon stabilitas fisik menunjukkan bahwa peningkatan kedua faktor tersebut menyebabkan nilai stabilitas fisik meningkat. Hal tersebut ditunjukkan oleh permukaan grafik yang tinggi disertai perubahan warna dari hijau-kebiruan menjadi hijau-kekuningan seiring peningkatan konsentrasi kedua faktor. Kemiringan permukaan grafik menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi sari edamame memberikan peningkatan kestabilan fisik yang lebih dominan dibandingkan peningkatan konsentrasi lesitin.

Peningkatan konsentrasi lesitin memberikan pengaruh nyata terhadap stabilitas fisik minuman. Lesitin merupakan salah satu pengemulsi alami yang

banyak digunakan dalam produk pangan karena mampu menurunkan tegangan antarmuka pada sistem emulsi. Lesitin memiliki gugus hidrofobik yang berinteraksi dengan fase minyak dan gugus hidrofilik yang berinteraksi dengan fase air sehingga mampu mempertahankan kestabilan emulsi (Suseno et al., 2025). Sejalan dengan penelitian Susilawati et al. (2016), penambahan lesitin yang semakin besar akan menghasilkan emulsi yang lebih stabil dibandingkan dengan penambahan yang lebih rendah dengan ditunjukkan oleh jumlah fase yang terpisah setelah proses sentrifugasi. Hal ini berkaitan dengan peran lesitin sebagai zat aktif yang dapat berorientasi pada antarmuka fase lemak dan air. Keberadaan lesitin tersebut dapat menurunkan tegangan dengan membantu mempertahankan dispersi fase lemak sehingga interaksi antara kedua fase menjadi stabil.

4.2.3. Respon Organoleptik

Pengujian sifat organoleptik dilakukan dengan uji hedonik terhadap atribut warna, aroma, dan rasa terhadap produk. Uji hedonik merupakan salah satu metode dalam analisis sensori yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat kesukaan panelis terhadap suatu produk serta membandingkan penerimaan beberapa berdasarkan atribut sensori tertentu. Penilaian dilakukan menggunakan skala hedonik yang terdiri atas beberapa tingkat kesukaan mulai dari sangat tidak suka hingga sangat suka (Tarwendah, 2017).

Prinsip uji hedonik didasarkan pada penilaian subjektif panelis terhadap tingkat kesukaan atau ketidaksukaan terhadap suatu produk. Penilaian tersebut dinyatakan dalam bentuk skala hedonik yang menggambarkan tingkat penerimaan panelis terhadap produk yang diuji (Qamariah et al., 2022).

4.2.3.1. Warna

Warna merupakan atribut sensorial yang diterima melalui indera penglihatan sebagai respon terhadap energi cahaya yang diterima oleh retina mata. Warna tidak termasuk sifat fisik dari suatu benda melainkan sensasi visual yang ditangkap oleh indera penglihatan. Dalam penilaian produk pangan, warna menjadi atribut pertama yang diamati oleh konsumen dan berperan penting dalam membentuk kesan awal produk (Sutrisno et al., 2019). Berikut hasil organoleptik atribut warna pada 15 formulasi dapat dilihat pada tabel 18.

Tabel 18. Hasil Organoleptik Atribut Warna

Run	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Respon 4
	Konsentrasi Sari Edamame (%)	Konsentrasi CMC (%)	Konsentrasi Lesitin (%)	Warna (numeric)
1	70	0,2	2	4,03
2	70	0,3	1	4,17
3	75	0,25	2	3,97
4	65	0,2	1,5	4,10
5	65	0,3	1,5	3,70
6	70	0,25	1,5	4,87
7	70	0,2	1	4,07
8	70	0,3	2	3,93
9	75	0,2	1,5	4,97
10	70	0,25	1,5	3,90
11	75	0,25	1	4,97
12	75	0,3	1,5	2,73
13	65	0,25	2	4,10
14	70	0,25	1,5	3,80
15	65	0,25	1	3,90

Berdasarkan hasil dari 15 formulasi minuman protein edamame, skor penilaian organoleptik atribut warna yang paling rendah sebesar 2,73 (agak tidak suka) pada run ke-12 dan yang paling tinggi sebesar 4,97 (suka) pada run ke-9 dan

ke-11. Pada respon organoleptik atribut warna model ANOVA yang disarankan oleh *Design Expert* yaitu model 2F1.

Tabel 19. ANOVA Organoleptik Atribut Warna

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-value</i>	<i>p-value</i>	
Model	2,32	6	0,3869	1,52	0,2859	<i>not significant</i>
A-sari edamame	0,0882	1	0,0882	0,3454	0,5729	
B-CMC	0,8712	1	0,8712	3,41	0,1019	
C-Lesitin	0,1458	1	0,1458	0,5710	0,4715	
AB	0,8464	1	0,8464	3,31	0,1062	
AC	0,3600	1	0,3600	1,41	0,2692	
BC	0,0100	1	0,0100	0,0392	0,8481	
Residual	2,04	8	0,2554			
<i>Lack of Fit</i>	1,34	6	0,2240	0,6414	0,7151	<i>not significant</i>
<i>Pure Error</i>	0,6986	2	0,3493			
Cor Total	4,36	14				

Dari tabel ANOVA tersebut, model nilai F sebesar 1,52 dan nilai *p-value* 0,2859 menunjukkan bahwa model yang direkomendasikan tidak signifikan dengan nilai ($p < 0,05$). Nilai F *lack of fit* sebesar 0,6414 dengan *p-value* 0,7151 menunjukkan tidak signifikan model dengan data (*lack of fit* $> 0,05$). Nilai *lack of fit* yang tidak signifikan menunjukkan bahwa model yang memiliki kesesuaian baik dengan data sehingga model dapat menggambarkan hubungan antara faktor dan respon (Ramadhani et al., 2017).

Tabel 20. *Fit Statistics* Organoleptik Atribut Warna

Std. Dev	0,5053		R²	0,5319
Mean	4,08		Adjusted R²	0,1809
C.V. %	12,38		Predicted R²	-0,7897
			Adeq Presicion	4,5769

Fit statistics digunakan untuk mengetahui kemampuan model dalam menjelaskan variasi data yang ditunjukan oleh nilai R² yaitu sebesar 0,5319, nilai

tersebut menggambarkan sejauh mana model dapat memperkirakan data eksperimen dengan sempurna dan disesuaikan dengan mengukur jumlah variasi tentang rata-rata yang dijelaskan oleh model (Behera et al., 2018). Didapatkan nilai *predicted* R^2 sebesar -0,7897 dan *adjusted* R^2 sebesar 0,1809 dengan selisih keduanya lebih dari 0,2 yang menandakan bahwa tidak sesuai atau tidak signifikan. *Predicted* R^2 negatif menyiratkan bahwa rata-rata keseluruhan mungkin merupakan prediktor respon yang lebih baik daripada model yang saat ini dilakukan. Jika nilai R^2 mendekati 1 menunjukkan model tersebut disarankan, sedangkan nilai *adjusted* R^2 dan *predicted* R^2 menandakan nilai yang tidak sesuai karena memiliki selisih lebih dari 0,2. Nilai *adeq presicion* sebesar 4,5769 yang melebihi nilai 4 menunjukkan bahwa model memiliki sinyal yang memadai. Hal tersebut mengindikasikan bahwa model mampu digunakan untuk menavigasi ruang desain (*design space*) dengan baik. Nilai *adeq presicion* untuk mengukur perbandingan antara rasio *signal* dan *noise*, dimana nilai yang lebih dari 4 menunjukkan bahwa model memiliki *signal* kuat sehingga tidak dipengaruhi *noise* (Risiana et al., 2021). Persamaan model matematika untuk organoleptik atribut warna terdapat pada persamaan dibawah ini:

$$Y = 0,1050A - 0,3300B - 0,1350C - 0,4600AB - 0,3000AC - 0,0500BC + 4,08$$

Keterangan:

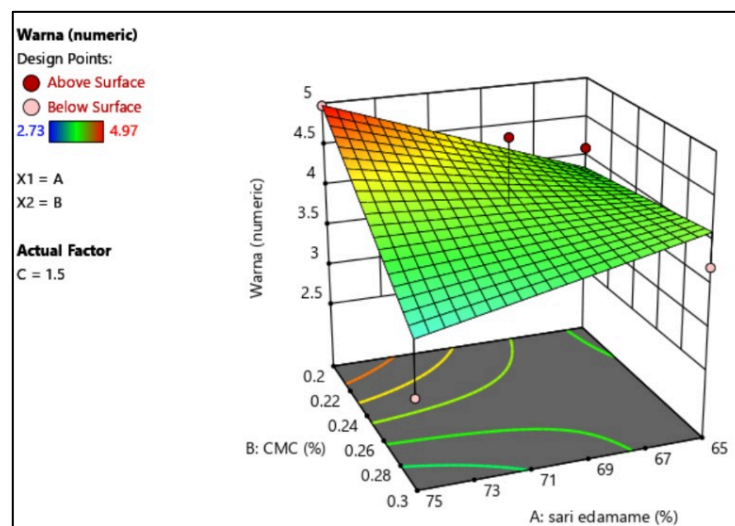
A = Sari edamame

B = CMC

C = Lesitin

Berdasarkan persamaan linear diatas, seluruh faktor yaitu sari edamame (A) memiliki koefisien bernilai positif yang menunjukkan bahwa berpengaruh terhadap peningkatan organoleptik dalam atribut warna produk, sedangkan CMC (B) dan lesitin (C), serta interaksi AB, AC, dan BC memiliki koefisien bernilai negatif yang dapat menurunkan organoleptik dalam atribut warna produk.

Pengaruh interaksi antarvariabel terhadap respon dapat divisualisasikan melalui grafik 3D. Grafik tersebut menggambarkan konfigurasi permukaan respon sekaligus menunjukkan besarnya nilai melalui gradasi warna. Warna yang mendekati merah menunjukkan respon yang lebih tinggi sedangkan warna yang mendekati biru menunjukkan respon yang lebih rendah (Istianah et al., 2025; Reji & Kumar, 2022).



Gambar 14. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan CMC terhadap Organoleptik Atribut Warna

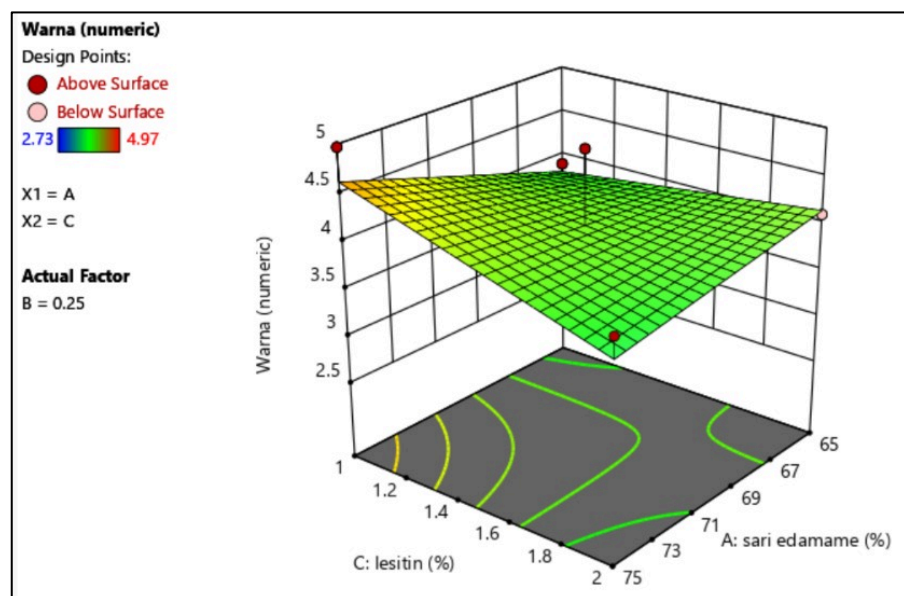
Berdasarkan gambar 14, grafik tiga dimensi interaksi antara konsentrasi sari edamame dan CMC terhadap respon warna menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi sari edamame cenderung meningkatkan nilai respon warna. Sementara itu, peningkatan konsentrasi CMC menurunkan nilai respon warna. Hal tersebut

ditunjukkan oleh permukaan grafik yang semakin tinggi dan perubahan warna dari hijau menjadi kuning hingga merah pada peningkatan konsentrasi sari edamame. Sebaliknya, pada arah peningkatan konsentrasi CMC permukaan grafik mengalami penurunan yang ditandai dengan dominasi warna hijau hingga biru yang menunjukkan kecenderungan penurunan nilai respon warna.

Warna hijau pada sari edamame berasal dari kandungan pigmen klorofil yang terdapat secara alami pada biji edamame. Klorofil merupakan pigmen utama yang berperan memberikan warna hijau pada tumbuhan, alga, dan bakteri fotosintetik. Pada tumbuhan, klorofil terdiri atas dua jenis, yaitu klorofil-a yang menghasilkan warna hijau tua dan klorofil-b yang menghasilkan warna hijau muda. Edamame dipanen pada fase muda yang masih memiliki kandungan klorofil tinggi sehingga warna hijau pada bijinya tetap dipertahankan selama proses pengolahan menjadi sari edamame. Warna hijau yang dihasilkan umumnya berupa hijau muda karena dipengaruhi oleh dominasi pigmen klorofil terutama klorofil-b. Peningkatan sari edamame menghasilkan intensitas warna hijau yang lebih tinggi sehingga memengaruhi tingkat penerimaan panelis terhadap atribut warna (Nur et al., 2018; Putra et al., 2024).

Penambahan CMC pada kisaran konsentrasi yang digunakan tidak memberikan pengaruh nyata terhadap karakteristik warna produk. Kondisi tersebut menyebabkan tingkat kesukaan panelis terhadap warna produk tidak berbeda nyata pada setiap perlakuan. CMC merupakan hidrokoloid berbentuk serbuk berwarna putih. Karakteristik tersebut tidak memberikan perubahan warna yang nyata pada produk (Utomo & Rizkiyah, 2020). Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian

Susi et al. (2024) pada minuman sari tempe menunjukkan bahwa penambahan CMC dengan berbagai konsentrasi tidak memberikan pengaruh nyata terhadap mutu warna produk. Hal tersebut terlihat dari tidak adanya perbedaan nyata pada terhadap mutu warna. CMC menghasilkan larutan bening setelah dilarutkan sehingga penambahannya tidak menyebabkan perubahan warna pada produk (Susi et al., 2024).

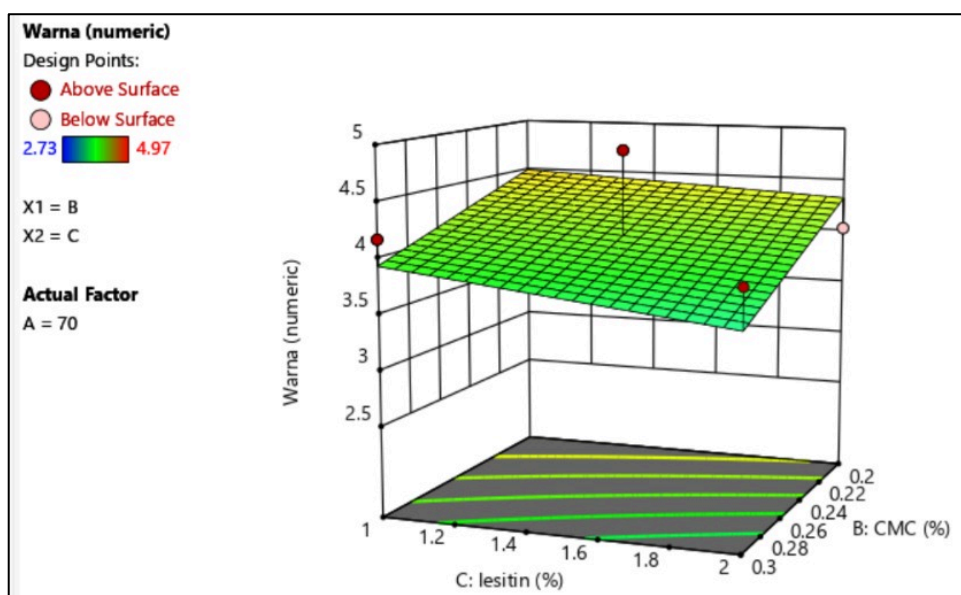


Gambar 15. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan Lesitin terhadap Organoleptik Atribut Warna

Berdasarkan gambar 15, grafik tiga dimensi interaksi antara konsentrasi sari edamame dan lesitin terhadap respon organoleptik atribut warna menunjukkan bahwa sari edamame meningkatkan nilai respon warna. Sementara itu, peningkatan konsentrasi lesitin diikuti oleh penurunan nilai respon warna. Hal tersebut ditunjukkan oleh permukaan grafik yang semakin tinggi dan perubahan warna dari hijau menjadi kuning pada arah peningkatan konsentrasi sari edamame. Sebaliknya, pada arah konsentrasi lesitin permukaan grafik mengalami penurunan dengan

didominasi permukaan berwarna hijau yang mengindikasikan kecenderungan penurunan nilai respon warna.

Penambahan lesitin pada kisaran konsentrasi yang digunakan tidak memberikan pengaruh nyata terhadap respon organoleptik atribut warna. Kondisi tersebut menyebabkan tingkat kesukaan panelis terhadap warna tidak berbeda nyata pada setiap perlakuan. Hal ini diduga lesitin ditambahkan dalam jumlah relatif sedikit sehingga tidak memberikan perubahan warna pada produk. Perbedaan konsentrasi yang digunakan menghasilkan karakteristik warna yang relatif serupa pada setiap perlakuan (Susilawati et al., 2016).



Gambar 16. Grafik Tiga Dimensi CMC dan Lesitin terhadap Organoleptik Atribut Warna

Berdasarkan gambar 16, grafik tiga dimensi interaksi antara konsentrasi CMC dan lesitin terhadap respon organoleptik atribut warna menunjukkan bahwa kombinasi konsentrasi CMC dan lesitin yang rendah menyebabkan nilai respon yang warna yang lebih tinggi. Sebaliknya, peningkatan CMC dan lesitin menyebabkan nilai respon warna menurun. Hal tersebut ditunjukkan oleh

permukaan grafik yang lebih tinggi dan didominasi warna kuning pada kombinasi konsentrasi CMC dan lesitin yang rendah, sedangkan permukaan grafik menjadi lebih rendah dengan dominasi warna hijau seiring meningkatnya konsentrasi kedua faktor.

4.2.3.2. Aroma

Aroma merupakan salah satu atribut sensori yang berperan penting dalam penilaian mutu produk dan menjadi parameter yang paling mudah dikenali melalui indera penciuman. Aroma didefinisikan sebagai karakteristik bau yang dapat dideteksi oleh indera penciuman. Perbedaan persepsi setiap individu terhadap aroma dapat menyebabkan penilaian kualitas aroma suatu produk menjadi beragam (Sutrisno et al., 2019). Aroma pada bahan pangan berasal dari senyawa-senyawa volatil yang mudah menguap. Selama proses pengolahan, terutama yang melibatkan pemanasan, sebagian senyawa volatil dapat hilang sehingga intensitas aroma produk dapat mengalami perubahan (Tio Larosta et al., 2019). Berikut hasil organoleptik atribut aroma pada 15 formulasi dapat dilihat pada tabel 21.

Tabel 21. Hasil Organoleptik Atribut Aroma

Run	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Respon 5
	Konsentrasi Sari Edamame (%)	Konsentrasi CMC (%)	Konsentrasi Lesitin (%)	Aroma (numeric)
1	70	0,2	2	3,27
2	70	0,3	1	3,10
3	75	0,25	2	3,03
4	65	0,2	1,5	3,43
5	65	0,3	1,5	3,43
6	70	0,25	1,5	4,30
7	70	0,2	1	4,13
8	70	0,3	2	2,80
9	75	0,2	1,5	3,43

Run	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Respon 5
	Konsentrasi Sari Edamame (%)	Konsentrasi CMC (%)	Konsentrasi Lesitin (%)	Aroma (numeric)
10	70	0,25	1,5	4,00
11	75	0,25	1	3,40
12	75	0,3	1,5	3,13
13	65	0,25	2	3,10
14	70	0,25	1,5	3,13
15	65	0,25	1	2,97

Berdasarkan hasil dari 15 formulasi minuman protein edamame, skor penilaian organoleptik atribut warna yang paling rendah sebesar 2,80 (agak tidak suka) run ke-8 dan yang paling tinggi sebesar 4,30 (agak suka) run ke-6. Pada respon organoleptik atribut aroma model ANOVA yang disarankan oleh *Design Expert* yaitu model linear.

Tabel 22. ANOVA Organoleptik Atribut Aroma

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-value</i>	<i>p-value</i>	
Model	0,6505	3	0,2168	1,15	0,3717	<i>not significant</i>
A-sari edamame	0,0004	1	0,0004	0,0024	0,9619	
B-CMC	0,4050	1	0,4050	2,15	0,1705	
C-Lesitin	0,2450	1	0,2450	1,30	0,2783	
Residual	2,07	11	0,1883			
<i>Lack of Fit</i>	1,33	9	0,1481	0,4010	0,8625	<i>not significant</i>
<i>Pure Error</i>	0,7386	2	0,3693			
Cor Total	2,72	14				

Dari tabel ANOVA tersebut, model nilai F sebesar 1,15 dan nilai *p-value* 0,3717 menunjukkan bahwa model yang direkomendasikan tidak signifikan dengan nilai ($p < 0,05$). Nilai F *lack of fit* sebesar 0,4010 dengan *p-value* 0,8625 menunjukkan tidak signifikan model dengan data (*lack of fit* $> 0,05$). Nilai *lack of fit* yang tidak signifikan menunjukkan bahwa model yang memiliki kesesuaian baik

dengan data sehingga model dapat menggambarkan hubungan antara faktor dan respon (Ramadhani et al., 2017).

Tabel 23. *Fit Statistics* Organoleptik Atribut Aroma

Std. Dev	0,4340		R²	0,2390
Mean	3,38		Adjusted R²	0,0314
C.V. %	12,85		Predicted R²	-0,1546
			Adeq Presicion	3,5699

Fit statistics digunakan untuk mengetahui kemampuan model dalam menjelaskan variasi data yang ditunjukkan oleh nilai R^2 yaitu sebesar 0,2390, nilai tersebut menggambarkan sejauh mana model dapat memperkirakan data eksperimen dengan sempurna dan disesuaikan dengan mengukur jumlah variasi tentang rata-rata yang dijelaskan oleh model (Behera et al., 2018). Didapatkan nilai *predicted R²* sebesar -0,1546 dan *adjusted R²* sebesar 0,0314 dengan selisih keduanya kurang dari 0,2 yang menandakan bahwa sesuai atau signifikan. *Predicted R²* negatif menyiratkan bahwa rata-rata keseluruhan mungkin merupakan prediktor respon yang lebih baik daripada model yang saat ini dilakukan. . Jika nilai R^2 mendekati 1 menunjukkan model tersebut disarankan, sedangkan nilai *adjusted R²* dan *predicted R²* menandakan nilai yang sesuai karena memiliki selisih kurang dari 0,2. Nilai *adeq presicion* sebesar 3,5699 yang memiliki nilai kurang dari 4 menunjukkan bahwa model tidak memiliki sinyal yang memadai. Nilai *adeq presicion* untuk mengukur perbandingan antara rasio *signal* dan *noise*, dimana nilai yang lebih dari 4 menunjukkan bahwa model memiliki *signal* kuat sehingga tidak dipengaruhi *noise* (Risiana et al., 2021). Persamaan model matematika untuk organoleptik atribut aroma terdapat pada persamaan dibawah ini:

$$Y = 0,0075A - 0,2250B - 0,1750C + 3,38$$

Keterangan:

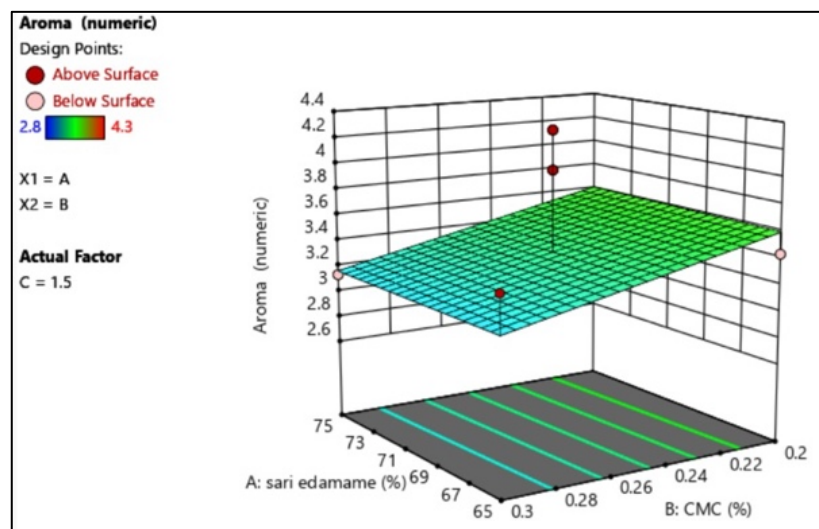
A = Sari edamame

B = CMC

C = Lesitin

Berdasarkan persamaan linear diatas, seluruh faktor yaitu sari edamame (A) memiliki koefisien bernilai positif yang menunjukkan bahwa berpengaruh terhadap peningkatan organoleptik dalam atribut aroma produk, sedangkan CMC (B) dan lesitin (C) memiliki koefisien bernilai negatif yang dapat menurunkan organoleptik dalam atribut aroma produk.

Pengaruh interaksi antarvariabel terhadap respon dapat divisualisasikan melalui grafik 3D. Grafik tersebut menggambarkan konfigurasi permukaan respon sekaligus menunjukkan besarnya nilai melalui gradasi warna. Warna yang mendekati merah menunjukkan respon yang lebih tinggi sedangkan warna yang mendekati biru menunjukkan respon yang lebih rendah (Istianah et al., 2025; Reji & Kumar, 2022).



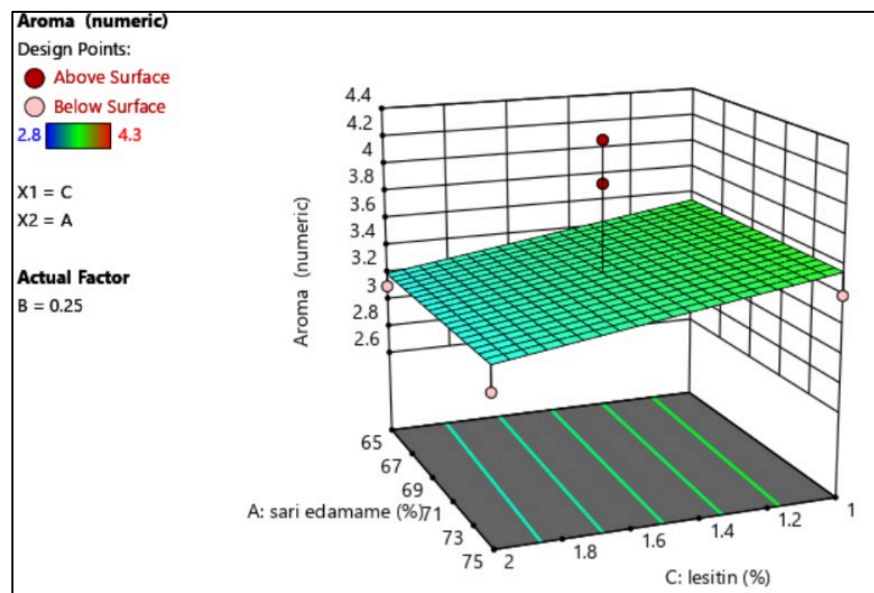
Gambar 17. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan CMC terhadap Organoleptik Atribut Aroma

Berdasarkan gambar 17, grafik tiga dimensi interaksi antara konsentrasi sari edamame dan CMC terhadap respon organoleptik atribut aroma menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi sari edamame meningkatkan nilai respon aroma. Sementara itu, peningkatan konsentrasi CMC menurunkan nilai respon aroma. Hal tersebut ditunjukkan oleh permukaan grafik yang sedikit meningkat pada arah peningkatan konsentrasi sari edamame, sedangkan pada arah peningkatan konsentrasi CMC permukaan grafik tampak sedikit menurun. Perubahan permukaan grafik yang relatif datar menunjukkan bahwa interaksi sari edamame dan CMC hanya memberikan pengaruh yang relatif kecil terhadap nilai respon aroma.

Aroma khas pada minuman edamame dipengaruhi oleh senyawa volatil yang terdapat pada biji edamame. Aroma tersebut umumnya dikenal sebagai aroma langu (*beany flavor*). Aroma tersebut terbentuk melalui oksidasi asam linolenat yang dikatalisis oleh enzim lipoksigenase dan menghasilkan senyawa volatil penyusun aroma (Nirmagustina & Rani, 2013). Pada penelitian, intensitas aroma langu diduga berkurang karena biji edamame telah melalui proses *blanching*. Perlakuan pemanasan tersebut dapat menghambat aktivitas enzim lipoksigenase sehingga aroma langu pada sari edamame menjadi lebih rendah. Kondisi tersebut menyebabkan panelis memberikan penilaian aroma yang relatif serupa pada setiap perlakuan sehingga tidak ditemukan pengaruh maupun interaksi yang nyata terhadap tingkat kesukaan aroma (Sutrisno et al., 2019).

CMC merupakan bahan penstabil yang tidak memiliki aroma khas karena tidak mengandung senyawa volatil yang berperan dalam pembentukan aroma

produk. Penambahan CMC umumnya tidak akan memberikan perubahan aroma pada produk. Hasil tersebut didukung dengan penelitian pada minuman sari tempe yang menunjukkan bahwa penambahan CMC pada berbagai konsentrasi tidak memberikan pengaruh nyata terhadap tingkat kesukaan maupun mutu aroma produk (Susi et al., 2024).



Gambar 18. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan Lesitin terhadap Organoleptik Atribut Aroma

Berdasarkan gambar 18, grafik tiga dimensi interaksi antara konsentrasi sari edamame dan lesitin terhadap respon organoleptik atribut aroma menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi sari edamame meningkatkan nilai respon aroma. Sementara itu, peningkatan konsentrasi lesitin menurunkan nilai respon aroma. Hal tersebut ditunjukkan oleh permukaan grafik yang sedikit meningkat pada arah peningkatan konsentrasi sari edamame, sedangkan pada arah peningkatan konsentrasi lesitin permukaan grafik tampak sedikit menurun. Perubahan permukaan grafik yang relatif datar menunjukkan bahwa interaksi antara sari

edamame dan lesitin hanya memberikan perubahan yang relatif kecil terhadap nilai respon aroma.

Penambahan lesitin pada penelitian ini tidak memberikan pengaruh nyata terhadap atribut aroma. Hal tersebut diduga karena konsentrasi lesitin digunakan relatif rendah sehingga aroma khas lesitin tidak cukup kuat untuk memengaruhi aroma produk. Hasil ini sejalan dengan penelitian es krim sari jagung manis yang menunjukkan bahwa penambahan lesitin kedelai tidak memberikan pengaruh nyata terhadap aroma produk karena lesitin kedelai tidak memiliki aroma yang kuat untuk memengaruhi aroma es krim sari jagung manis (Rahmawati et al., 2018).

4.2.3.3. Rasa

Rasa merupakan salah satu atribut sensori yang terbentuk akibat rangsangan senyawa kimia pada indera pengecap. Persepsi rasa dihasilkan oleh reseptor pada lidah yang mampu mengenali rasa dasar meliputi manis, asam, asin, dan pahit (Nur et al., 2018). Indera pengecap atau lidah menjadi instrumen utama dalam mengenali rasa suatu produk pangan. Rasa dideteksi oleh kuncup-kuncup pengecap yang terdapat pada papila lidah yang diterjemahkan menjadi persepsi rasa oleh panelis. Oleh karena itu, rasa menjadi salah satu parameter penting dalam menentukan mutu produk serta tingkat penerimaan konsumen (Sutrisno et al., 2019). Berikut hasil organoleptik atribut rasa pada 15 formulasi dapat dilihat pada tabel 24.

Tabel 24. Hasil Organoleptik Atribut Rasa

Run	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Respon 6
	Konsentrasi Sari Edamame (%)	Konsentrasi CMC (%)	Konsentrasi Lesitin (%)	Rasa (<i>numeric</i>)
1	70	0,2	2	3,83
2	70	0,3	1	4,37
3	75	0,25	2	3,43

Run	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Respon 6
	Konsentrasi Sari Edamame (%)	Konsentrasi CMC (%)	Konsentrasi Lesitin (%)	Rasa (numeric)
4	65	0,2	1,5	3,67
5	65	0,3	1,5	3,87
6	70	0,25	1,5	3,87
7	70	0,2	1	4,33
8	70	0,3	2	2,93
9	75	0,2	1,5	3,87
10	70	0,25	1,5	3,83
11	75	0,25	1	4,53
12	75	0,3	1,5	2,63
13	65	0,25	2	3,03
14	70	0,25	1,5	2,90
15	65	0,25	1	3,07

Berdasarkan hasil dari 15 formulasi minuman protein edamame, skor penilaian organoleptik atribut warna yang paling rendah sebesar 2,63 (agak tidak suka) run ke-12 dan yang paling tinggi sebesar 4,53 (suka) run ke-11. Pada respon organoleptik atribut rasa model ANOVA yang disarankan oleh *Design Expert* yaitu model linear.

Tabel 25. ANOVA Organoleptik Atribut Rasa

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-value</i>	<i>p-value</i>	
Model	1,72	3	0,5737	2,03	0,1684	<i>not significant</i>
A-sari edamame	0,0840	1	0,0840	0,2971	0,5966	
B-CMC	0,4512	1	0,4512	1,60	0,2327	
C-Lesitin	1,19	1	1,19	4,19	0,0653	
Residual	3,11	11	0,2829			
<i>Lack of Fit</i>	2,51	9	0,2788	0,9256	0,6203	<i>not significant</i>
<i>Pure Error</i>	0,6025	2	0,3012			
Cor Total	4,83	14				

Dari tabel ANOVA tersebut, model nilai F sebesar 2,03 dan nilai *p-value* 0,1684 menunjukkan bahwa model yang direkomendasikan tidak signifikan dengan

nilai ($p < 0,05$). Nilai *F lack of fit* sebesar 0,9256 dengan *p-value* 0,6203 menunjukkan tidak signifikan model dengan data (*lack of fit* $> 0,05$). Nilai *lack of fit* yang tidak signifikan menunjukkan bahwa model yang memiliki kesesuaian baik dengan data sehingga model dapat menggambarkan hubungan antara faktor dan respon (Ramadhani et al., 2017).

Tabel 26. *Fit Statistics* Organoleptik Atribut Rasa

Std. Dev	0,5319		R²	0,3561
Mean	3,61		Adjusted R²	0,1805
C.V. %	14,73		Predicted R²	-0,2514
			Adeq Presicion	4,5329

Fit statistics digunakan untuk mengetahui kemampuan model dalam menjelaskan variasi data yang ditunjukkan oleh nilai R^2 yaitu sebesar 0,3561, nilai tersebut menggambarkan sejauh mana model dapat memperkirakan data eksperimen dengan sempurna dan disesuaikan dengan mengukur jumlah variasi tentang rata-rata yang dijelaskan oleh model (Behera et al., 2018). Didapatkan nilai *predicted R²* sebesar -0,2514 dan *adjusted R²* sebesar 0,1805 dengan selisih keduanya lebih dari 0,2 yang menandakan bahwa tidak sesuai atau tidak signifikan. *Predicted R²* negatif menyiratkan bahwa rata-rata keseluruhan mungkin merupakan prediktor respon yang lebih baik daripada model yang saat ini dilakukan. Jika nilai R^2 mendekati 1 menunjukkan model tersebut disarankan, sedangkan nilai *adjusted R²* dan *predicted R²* menandakan nilai yang tidak sesuai karena memiliki selisih lebih dari 0,2. Nilai *adeq presicion* sebesar 4,5329 yang melebihi nilai 4 menunjukkan bahwa model memiliki sinyal yang memadai. Hal tersebut mengindikasikan bahwa model mampu digunakan untuk menavigasi ruang desain (*design space*) dengan baik. Nilai *adeq presicion* untuk mengukur perbandingan

antara rasio *signal* dan *noise*, dimana nilai yang lebih dari 4 menunjukkan bahwa model memiliki *signal* kuat sehingga tidak dipengaruhi *noise* (Risiana et al., 2021). Persamaan model matematika untuk organoleptik atribut rasa terdapat pada persamaan dibawah ini:

$$Y = 0,1025A - 0,2375B - 0,3850 C + 3,61$$

Keterangan:

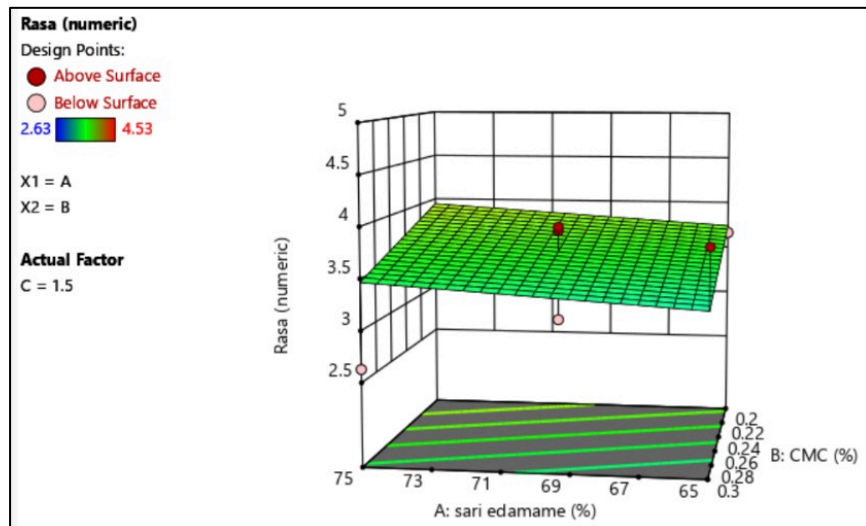
A = Sari edamame

B = CMC

C = Lesitin

Berdasarkan persamaan linear diatas, seluruh faktor yaitu sari edamame (A) memiliki koefisien bernilai positif yang menunjukkan bahwa berpengaruh terhadap peningkatan organoleptik dalam atribut rasa produk, sedangkan CMC (B) dan lesitin (C) memiliki koefisien bernilai negatif yang dapat menurunkan organoleptik dalam atribut rasa produk.

Pengaruh interaksi antarvariabel terhadap respon dapat divisualisasikan melalui grafik 3D. Grafik tersebut menggambarkan konfigurasi permukaan respon sekaligus menunjukkan besarnya nilai melalui gradasi warna. Warna yang mendekati merah menunjukkan respon yang lebih tinggi, sedangkan warna yang mendekati biru menunjukkan respon yang lebih rendah (Istianah et al., 2025; Reji & Kumar, 2022).



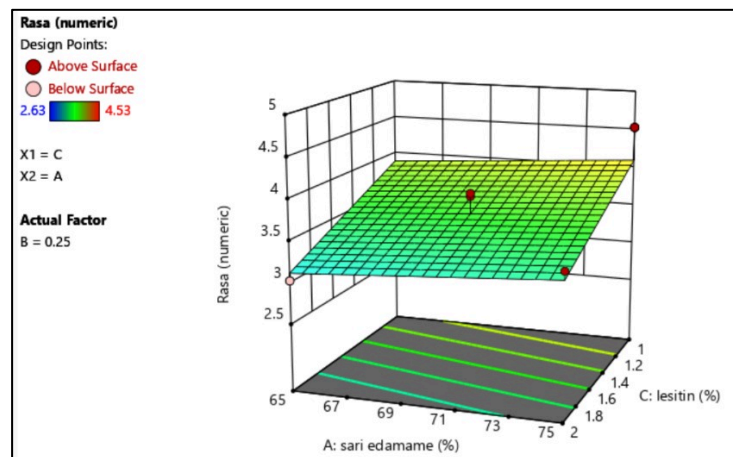
Gambar 19. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan CMC terhadap Organoleptik Atribut Rasa

Berdasarkan gambar 19, grafik tiga dimensi interaksi antara konsentrasi sari edamame dan CMC terhadap atribut rasa menunjukkan peningkatan sari edamame meningkatkan nilai respon rasa. Sementara itu, peningkatan konsentrasi CMC menurunkan nilai respon rasa. Hal tersebut ditunjukkan oleh permukaan grafik yang meningkat dengan perubahan warna dari hijau menuju kuning pada arah peningkatan konsentrasi sari edamame, sedangkan pada arah peningkatan konsentrasi CMC permukaan grafik tampak menurun dengan dominasi warna hijau hingga hijau-kebiruan.

Karakteristik rasa edamame dipengaruhi oleh kandungan senyawa penyusunnya. Rasa yang dihasilkan oleh sari edamame cenderung manis disertai cita rasa khas kacang yang merupakan karakteristik alami edamame (Putra et al., 2024). Edamame memiliki rasa manis yang berasal dari kandungan sukrosa, glukosa, fruktosa, dan rafinosa. Selain itu, edamame juga memiliki cita rasa gurih (umami) yang berasal dari kandungan asam glutamat sebagai salah satu asam amino.

Kombinasi berbagai senyawa tersebut menghasilkan cita rasa khas edamame (Barikah et al., 2021).

Penambahan CMC pada kisaran konsentrasi yang digunakan tidak memberikan pengaruh nyata terhadap atribut rasa. CMC berfungsi sebagai bahan stabil dan tidak memiliki rasa yang dapat merubah cita rasa pada produk. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelittian minuman sari tempe dan susu kedelai kombinasi kacang tolo yang menunjukkan bahwa variasi konsentrasi CMC tidak memberikan perbedaan nyata terhadap atribut rasa karena CMC tidak memiliki rasa, bau, maupun warna yang dapat memengaruhi karakteristik sensori produk (Hesthiati et al., 2024; Utomo & Rizkiyah, 2020).



Gambar 20. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan Lesitin terhadap Organoleptik Atribut Rasa

Berdasarkan gambar 20, grafik tiga dimensi interaksi antara konsentrasi sari edamame dan lesitin terhadap respon organoleptik atribut rasa menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi sari edamame meningkatkan nilai respon rasa. Sementara itu, peningkatan konsentrasi lesitin menurunkan nilai respon rasa. Hal tersebut ditunjukkan oleh permukaan grafik yang meningkat dengan ditanda warna hijau

hingga kuning pada arah peningkatan sari edamame, sedangkan pada arah peningkatan konsentrasi lesitin permukaan grafik tampak menurun dengan warna hijau hingga hijau-kebiruan.

Lesitin tidak memiliki rasa yang dominan yang menyebabkan penambahannya tidak memengaruhi cita rasa produk. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian pada es krim jagung manis yang menunjukkan bahwa lesitin tidak memiliki rasa sehingga tidak memberikan pengaruh terhadap atribut rasa produk (Rahmawati et al., 2018).

4.3. Formulasi Optimal

Optimasi formulasi dilakukan untuk memperoleh kombinasi terbaik dari variabel bebas berdasarkan respon yang telah dianalisis melalui model yang diperoleh (Wulandari & Widyaningsih, 2025). Pada tahap optimasi, setiap respon terlebih dahulu ditetapkan *goal* (sasaran) dan *importance* (tingkat kepentingan) sesuai tujuan optimasi. Semakin tinggi nilai *importance* yang diberikan, semakin besar prioritas respon tersebut dalam menentukan formulasi optimum. Program kemudian menghasilkan beberapa alternatif formulasi optimum dan formulasi yang dipilih merupakan formulasi dengan nilai *desirability* paling mendekati 1 karena nilai tersebut menunjukkan tingkat kesesuaian atau ketepatan prediksi hasil optimasi yang semakin tinggi (Hamidatun et al., 2025). Nilai *desirability* yang semakin mendekati nilai 1, kemampuan program menghasilkan formulasi yang sesuai target optimasi juga semakin baik (Raissi & Farzani., 2009).

Dalam proses optimasi, setiap faktor dan respon diberikan tingkat kepentingan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Tingkat kepentingan tersebut

dinyatakan dalam skala positif mulai dari 1 (+) hingga 5 (++++), dengan jumlah tanda positif yang lebih banyak menunjukkan prioritas semakin tinggi dalam proses optimasi (Agustina et al., 2020). Penetapan *goal* dan *importance* dapat dilihat pada tabel 27.

Tabel 27. Penetapan *Goal* dan *Importance* Produk

Variabel	Goal	Batas Bawah	Batas Atas	Importance
Sari Edamame	<i>Maximize</i>	65	75	+++++
CMC	<i>Minimize</i>	0,2	0,3	+++++
Lesitin	<i>Minimize</i>	1	2	+++++
Respon				
Kadar Protein	<i>Maximize</i>	2,54	8,91	+++++
Viskositas	<i>In range</i>	297	415,5	+++++
Stabilitas Fisik	<i>In range</i>	69,83	83,83	+++++
Warna	<i>Maximize</i>	2,73	4,97	+++++
Aroma	<i>Maximize</i>	2,8	4,3	+++++
Rasa	<i>Maximize</i>	2,63	4,53	+++++

Sari edamame ditetapkan dengan *goal maximize* dan tingkat *importance* 5 (+++++) karena merupakan komponen utama dalam formulasi yang memberikan kontribusi besar terhadap karakteristik produk. Sari edamame sebagai sumber protein utama dalam produk sehingga peningkatannya berbanding lurus dengan meningkatnya kadar protein produk akhir (Tio Larosta et al., 2019). Oleh karena itu, variabel ini memiliki kepentingan yang tertinggi agar menjadikan prioritas dalam proses optimasi.

CMC ditetapkan dengan *goal minimize* dan tingkat *importance* 5 (+++++). CMC berperan sebagai bahan tambahan yang penggunaannya diupayakan minimal

tanpa mengurangi efektivitasnya dalam menjaga kestabilan produk. Penggunaan CMC dalam jumlah berlebih berpotensi meningkatkan viskositas dan memengaruhi karakteristik produk, sedangkan pengendalian konsentrasinya berperan penting terhadap viskositas dan kestabilan fisik (Erniati et al., 2025). Oleh karena itu, variabel CMC diberikan tingkat kepentingan yang tinggi dalam proses optimasi untuk memperoleh formulasi dengan karakteristik produk yang diharapkan.

Lesitin ditetapkan dengan *goal minimize* dan tingkat *importance* 5 (+++++). Lesitin berfungsi sebagai emulsifier yang membantu mempertahankan homogenitas sistem yang berkontribusi terhadap kestabilan fisik. Konsentrasi lesitin dibatasi dalam jumlah yang rendah agar tidak menimbulkan aroma yang kuat pada produk, namun tetap dapat mempertahankan sistem emulsi secara optimal (Alfarizi et al., 2024). Oleh karena itu, konsentrasi lesitin memiliki kepentingan yang tinggi dalam pencapaian formula optimum secara keseluruhan.

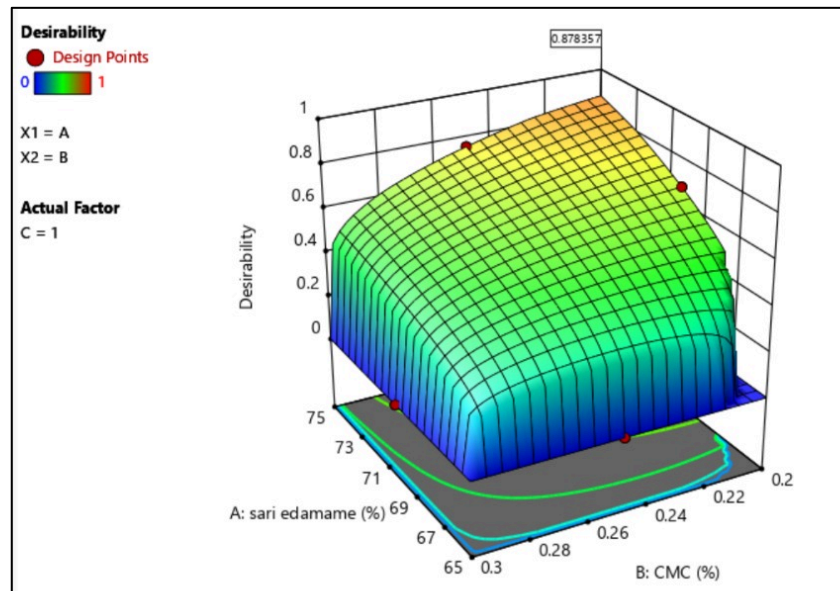
Respon kadar protein dioptimalkan dengan *goal maximize* dan tingkat *importance* 5 (+++++). Kadar protein menjadi parameter utama dalam mutu minuman. Kandungan protein yang lebih tinggi menunjukkan formulasi yang dihasilkan memiliki kualitas gizi yang baik terlebih bahan baku utama adalah edamame sebagai sumber protein (Tio Larosta et al., 2019). Oleh karena itu, kadar protein menjadi respon yang diprioritaskan dalam proses optimasi.

Respon viskositas dioptimalkan dengan *goal in range* dan tingkat *importance* 5 (+++++). Viskositas berperan dalam menentukan karakteristik alir serta kestabilan sistem dispersi minuman. Nilai viskositas yang terlalu rendah dapat meningkatkan kecenderungan terjadinya sedimentasi atau pemisahan fase,

sedangkan nilai viskositas yang terlalu tinggi dapat memengaruhi karakteristik minuman dan penerimaan pada konsumen (Klinmalai et al., 2025). Oleh karena itu, optimasi untuk memperoleh nilai viskositas berada pada kisaran tertentu dan memiliki tingkat prioritas yang sangat penting dalam menghasilkan formulasi dengan karakteristik fisik yang optimal.

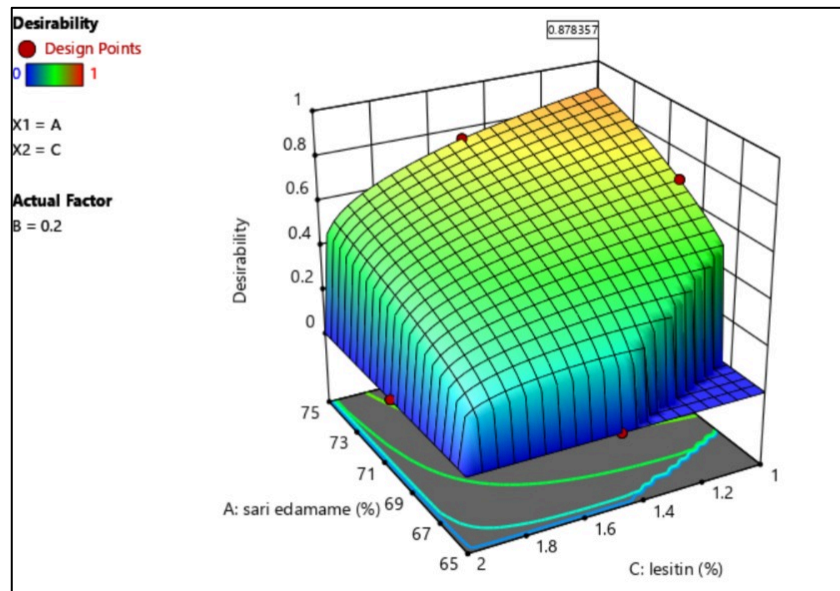
Respon stabilitas fisik dioptimalkan dengan *goal in range* dan tingkat *importance* 5 (+++++). Kestabilan fisik menunjukkan kemampuan sistem dalam mempertahankan homogenitas dispersi selama penyimpanan. Optimasi untuk memperoleh tingkat kestabilan yang berada dalam rentang yang sesuai sehingga produk dapat mempertahankan homogenitas dan meminimalkan terjadinya pemisahan fase selama penyimpanan (Alif et al., 2024). Oleh karena itu, kestabilan fisik memiliki tingkat kepentingan tinggi yang berpengaruh terhadap mutu fisik produk.

Respon warna, aroma, dan rasa dioptimalkan dengan *goal maximize* dan tingkat *importance* 5 (+++++). Ketiganya merupakan atribut organoleptik yang diperoleh berdasarkan tingkat kesukaan panelis. Tingkat kesukaan terhadap atribut tersebut dinilai uji hedonik sehingga skor yang lebih tinggi mencerminkan penerimaan panelis yang lebih baik terhadap sifat organoleptik produk. Warna berperan dalam membentuk persepsi awal panelis, aroma berperan dalam memengaruhi kesan pertama, dan rasa berperan dalam menentukan bahwa produk diterima atau tidak (Tarwendah, 2017).



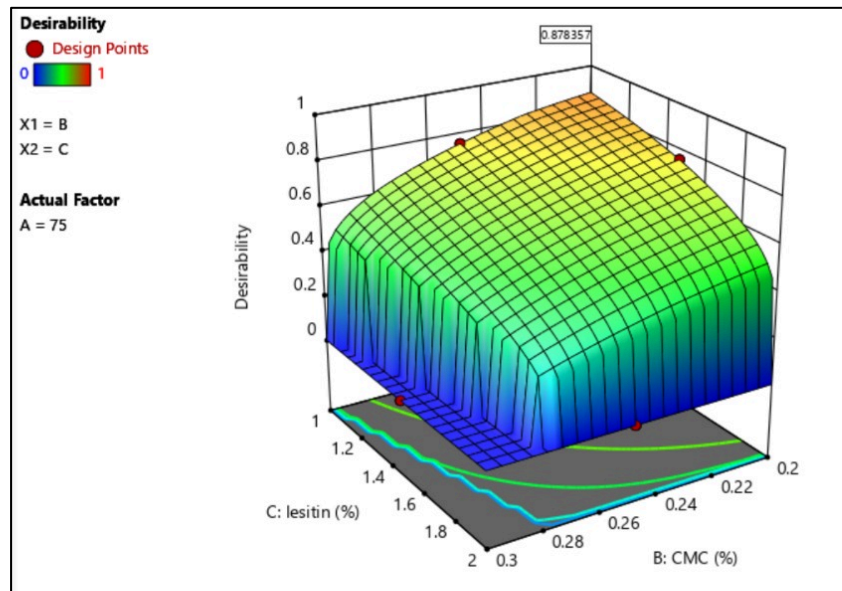
Gambar 21. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan CMC terhadap Nilai *Desirability*

Berdasarkan gambar 21, grafik tiga dimensi interaksi konsentrasi sari edamame dan CMC terhadap nilai *desirability* menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi sari edamame dapat meningkatkan nilai *desirability*. Sebaliknya, peningkatan CMC menyebabkan nilai *desirability* menurun. Hal tersebut ditunjukkan oleh daerah dengan nilai *desirability* yang berada pada kombinasi konsentrasi sari edamame yang tinggi dan CMC yang rendah, ditandai dengan permukaan grafik yang lebih tinggi dan perubahan warna dari biru menuju kuning-*orange*. Kombinasi faktor tersebut dapat memberikan tingkat kesesuaian yang baik terhadap seluruh target (*goal*) yang telah ditentukan sehingga nilai *desirability* tinggi mencapai 0,878.



Gambar 22. Grafik Tiga Dimensi Sari Edamame dan Lesitin terhadap Nilai *Desirability*

Berdasarkan gambar 22, grafik tiga dimensi interaksi konsentrasi sari edamame dan CMC terhadap nilai *desirability* menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi sari edamame dapat meningkatkan nilai *desirability*, sedangkan peningkatan konsentrasi lesitin menyebabkan nilai *desirability* menurun. Hal tersebut ditunjukkan oleh daerah dengan nilai *desirability* tertinggi yang berada pada kombinasi konsentrasi sari edamame yang tinggi dan lesitin rendah, ditandai dengan permukaan grafik yang lebih tinggi serta perubahan warna dari biru menuju kuning-*orange*. Dengan kombinasi faktor tersebut dapat memberikan tingkat kesesuaian yang baik terhadap seluruh target optimasi yang telah ditentukan dengan nilai *desirability* 0,878.



Gambar 23. Grafik Tiga Dimensi CMC dan Lesitin terhadap Nilai *Desirability*

Berdasarkan gambar 23, grafik tiga dimensi interaksi konsentrasi CMC dan lesitin terhadap nilai *desirability* menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi CMC dan lesitin dapat meningkatkan nilai *desirability*. Hal tersebut ditunjukkan oleh daerah dengan nilai *desirability* tertinggi berada pada kombinasi konsentrasi CMC dan lesitin yang rendah, ditandai dengan permukaan grafik yang tinggi dan perubahan warna dari biru menuju kuning-orange. Faktor tersebut dapat memberikan tingkat kesesuaian yang baik terhadap seluruh target optimasi yang telah ditentukan dengan nilai *desirability* 0,878.

Berdasarkan hasil analisis grafik *desirability*, diperoleh daerah kombinasi faktor yang memberikan tingkat kesesuaian tertinggi terhadap seluruh target optimasi. Penentuan formulasi optimum dilakukan dengan memilih alternatif formulasi yang menghasilkan nilai *desirability* tertinggi sesuai dengan target (*goal*) dan tingkat kepentingan (*importance*) yang telah ditetapkan pada setiap

respon. *Design Expert* menghasilkan sebanyak 39 alternatif solusi formulasi dengan nilai *desirability* tertinggi, yaitu sebesar 0,878.

Tabel 28. Solusi Formulasi Terpilih

	Number	sari edamame	CMC	lesitin	Kadar Protein	Viskositas	Stabilitas Fisik	Warna	Aroma	Rasa	Desirability	
	1	75.000	0.200	1.000	6.902	335.525	73.096	5.361	3.784	4.336	0.878	Selected

Hasil optimasi menghasilkan 39 alternatif solusi dengan solusi nomor 1 dipilih sebagai formulasi optimum karena memiliki nilai *desirability* tertinggi, yaitu 0,878. Solusi tersebut memiliki komposisi sari edamame 75%, CMC 0,2%, dan lesitin 1%. Dengan nilai prediksi kadar protein 6,902%, viskositas 335,525 cP, stabilitas fisik 73,096%, respon organoleptik atribut warna 5,361, atribut aroma 3,784, dan atribut rasa 4,336. Formulasi optimasi tersebut dilakukan tahap verifikasi untuk membandingkan nilai prediksi dengan hasil pengujian aktual.

4.3.1. Verifikasi Formulasi Optimal

Verifikasi hasil dilakukan untuk membandingkan nilai respon aktual dengan nilai prediksi yang dihasilkan oleh program. Model menyatakan dapat diaplikasikan apabila nilai respon aktual berada dalam rentang *Confidence Interval* (CI) dan *Prediction Interval* (PI) pada taraf kepercayaan 95% (Hamidatun et al., 2025). *Confidence Interval* (CI) menunjukkan kisaran nilai rata-rata hasil pengukuran yang diprediksi oleh model pada taraf signifikansi 5%, sedangkan *Prediction Interval* (PI) menunjukkan kisaran nilai respon yang akan diperoleh pada pengujian dengan kondisi yang sama pada taraf signifikansi 5% (Kusuma et al., 2019).

Data hasil verifikasi dibandingkan dengan kisaran *Confidence Interval* (CI) dan *Prediction Interval* (PI) yang dihasilkan model. Apabila nilai respon aktual

masih berada dalam rentang CI maupun PI, maka model yang diperoleh memiliki kesesuaian dengan prediksi yang dihasilkan *Design Expert* dan dapat digunakan sebagai acuan dalam penentuan formulasi pada proses produksi (Prabudi et al., 2018). Hasil tahapan verifikasi dan prediksi dari setiap respon dapat dilihat pada tabel 29.

Tabel 29. Hasil Verifikasi Formulasi Optimal

Analisis	Prediksi	Aktual	95% CI <i>Low</i>	95% CI <i>High</i>	95% PI <i>Low</i>	95% PI <i>High</i>
Kadar Protein (%)	6,32733	8,68	5,70691	6,94776	3,84562	8,80904
Viskositas (cP)	364,9	364	358,64	371,16	339,861	389,939
Stabilitas Fisik (%)	76,8887	75,67	76,3857	77,3916	74,8767	78,9006
Warna (<i>numeric</i>)	4,08067	5	3,77979	4,38155	2,87715	5,28418
Aroma (<i>numeric</i>)	3,37667	4,03	3,13005	3,62328	2,39021	4,36312
Rasa (<i>numeric</i>)	3,61067	4,77	3,30841	3,91293	2,40163	4,81971

Berdasarkan hasil verifikasi formulasi optimal, nilai respon aktual pada keseluruhan respon tidak berbeda jauh dengan nilai prediksi dan masih berada dalam rentang 95% PI *Low* dan 95% PI *High*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa model yang dihasilkan bahwa faktor hasil optimasi, yaitu konsentrasi sari edamame, CMC, dan lesitin terhadap produk minuman protein yang diberikan *Design Expert* memberikan hasil yang optimal ditandai dengan hasil analisis respon berada pada rentang prediksi yang diberikan *Design Expert*.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menguraikan mengenai: 5.1. Penelitian Pendahuluan dan 5.2. Saran.

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian Optimasi Formulasi Minuman Protein Berbasis Edamame Menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) Metode *Box Behnken Design* (BBD) yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa *Design Expert* dengan *Response Surface Methodology* (RSM) Metode *Box Behnken Design* (BBD) dapat menghasilkan formulasi optimal dengan nilai *desirability* sebesar 0,878.

5.2. Saran

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

1. Penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengujian umur simpan pada formulasi optimum untuk mengevaluasi perubahan mutu kimia dan fisik produk selama penyimpanan.
2. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan pengujian total padatan untuk mengetahui kandungan padatan total produk, serta adanya keterkaitan dengan nilai viskositas dan stabilitas produk yang dihasilkan.
3. Penggunaan gula sukrosa untuk penelitian selanjutnya disarankan menggunakan jenis pemanis alami alternatif, seperti stevia atau sari kurma guna mendukung pengembangan minuman fungsional.

4. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan jenis atau variasi perisa untuk meningkatkan penerimaan organoleptik terutama dalam atribut aroma.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Halif, N. R., Sulistyowati, E., Kaswari, S. R. T., & Mustafa, A. (2024). **Pengaruh Pemberian Edamame Rebus (*Glycine Max (L) Merrill*) sebagai Camilan Sehat Terhadap Penurunan Tekanan Darah Penderita Hipertensi.** *Jurnal Gizi dan Kesehatan*, 8(2), 147–157.
- Abdullah, F., & Mutia, A. K. (2020). **Pengaruh Penambahan CMC (*Carboxyl Methyl Cellulose*) Terhadap Uji Organoleptik Otak-Otak Ikan Nike.** *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, 6(2), 171–180.
- Agustina Sulastri, Kristina Tresia Leto, & Kartini Rahman Nisa. (2024). **Studi Eksploratif Mengenai Kadar Garam Tradisional di Kampung Garam Kabupaten Sikka.** *Jurnal Yudistira: Publikasi Riset Ilmu Pendidikan dan Bahasa*, 2(2), 289–307.
- Agustina, W., Fitri Dzakia, N., Cahyadi, W., Nanang Surahman, D., & Chandra Iwansyah, A. (2020). **Optimasi Formula dan Karakterisasi Produk Cookies Berbahan Dasar Pasta Kacang Mete (*Anacardium Occidentale L*).** *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 14(2), 176–187.
- Alfarizi, F. A., Arif, Z. Z., & Hutami, R. (2024). **Kajian Lesitin Sebagai Bahan Tambahan Pangan Golongan Pengemulsi Pada Produk Margarin.** *Karimah Tauhid*, 3(10), 11873–11878.
- Alif, S. B. N., Dewi, I. K., & Ridlo, A. (2024). **Uji Stabilitas Fisik Formulasi Sediaan Sirup Infusa Daun Seledri (*Apium Graveolens L.*) dengan Larutan Pemanis Daun Stevia (*Stevia Rebaudiana*).** *Borobudur Pharmacy Review*, 4(1), 7–11.
- Alifandi, T. A., Setya, E. A., & Partha, I. B. B. (2024). **Pembuatan Minuman Susu Kedelai dengan Campuran Buah Pisang Susu (*Musa Acuminata 'Lady Finger'*).** *Agroforetech*, 2(3), 1480–1492.
- Amali, M. A. (2025). **Formulasi Dan Stabilitas Minuman Nabati Berbasis Oat dan Kedelai.** *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 2(2), 41–52.
- Amelia, J. R., Azni, I. N., Basriman, I., & Prasasti, F. N. W. (2021). **Karakteristik Kimia Minuman Sari Tempe-Jahe Dengan Penambahan *Carboxy Methyl Cellulose* dan Gom Arab Pada Konsentrasi yang Berbeda.** *Chimica Et Natura Acta*, 9(1), 36–44.

- Anggraini, A., & Yunianta. (2015). *The Effect of Papain Hydrolysis Temperature and Time on Chemical, Physical and Organoleptic Characteristic of Edamame Milk*. Jurnal Pangan dan Agroindustri, 3(3), 1015–1025.
- Anggraini, D. N., Radiati, L. E., & Purwadi. (2016). **Penambahan Carboxymethyl Cellulose (CMC) Pada Minuman Sari Apel Ditinjau dari Rasa, Aroma, Warna, pH, Viskositas, dan Kekeruhan**. Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak, 11(1), 59–68.
- Anugrahati, N. A., & Wijaya, L. F. (2023). *Effect of Substitution Sago Flour With Tempeh Flour and Emulsifier Types on Characteristic of Bangkit Cookies*. Jurnal Teknologi Pertanian, 12(1), 11–22.
- Aristawidya, N., Pratiwi, Y. S., & Putra, Y. A. T. (2026). **Karakteristik Fisikokimia dan Organoleptik Mie Basah Bebas Gluten dengan Penambahan Carboxymethyl Cellulose (CMC)**. Jurnal Sains dan Teknologi Pangan, 11(3), 570–583.
- Ayu, F. T., Rahmi, I., & Asdi, Y. (2015). **Optimasi Respon Pada Percobaan Faktorial dengan Menggunakan Metode Permukaan Respon**. Jurnal Matematika, 4(2), 51–57.
- Azharini, R., Widyasanti, A., & Nurhasanah, S. (2022). **Optimasi Proses Ekstraksi Bunga Telang (*Clitoria Ternatea*) Berbantu Gelombang Mikro Menggunakan Aplikasi Response Surface Methodology**. Jurnal Teknologi dan Industri Pertanian Indonesia, 14(2), 97–102.
- Azzahra, S., & Hartati, E. (2024). **Perancangan Desain Eksperimen Menggunakan Metode Response Surface**. Seminar Nasional dan Diseminasi Tugas Akhir, 1085–1088.
- Barikah, M., Astuti, N., Handajani, S., & Romadhoni, I. F. (2021). **Pengaruh Proporsi Puree Edamame (*Glycine Max (L) Merrill*) dan Terigu Terhadap Sifat Organoleptik Donat**. Jurnal Tata Boga, 10(1), 138–146.
- Behera, S. K., Meena, H., Chakraborty, S., & Meikap, B. C. (2018). *Application of Response Surface Methodology (RSM) for Optimization of Leaching Parameters for Ash Reduction From Low-Grade Coal*. International Journal of Mining Science and Technology, 28(4), 621–629.
- BPOM. (2013). **Batas Maksimum Penggunaan Bahan Tambahan Pangan Pengemulsi**.
- El Hadi, R. M., Pulungan, M. A., Budinam, F., & Sriwana, K. (2023). **Rekayasa Teknologi Mesin Perah Susu Sapi Multi Fungsi Siap Minum Langsung**. PKM-CSR, 6, 1–24.

- Erniati, Ansharullah, & Sakir. (2025). **Pengaruh Penambahan CMC (*Carboxymethyl Cellulose*) Dan Asam Sitrat Terhadap Kualitas Cita Rasa Sirup Buah Nanas (*Ananas Comosus L.*)**. Jurnal Riset Pangan, 3(2), 167–179.
- Erwanto, & Martiyanti, A. A. (2024). **Substitusi Gula Aren Pada Minuman Sirup Lidah Buaya**. Jurnal Pertanian dan Pangan, 6(1), 1–11.
- F. Lalong, P. R., Nabon, M. N., G. Soru, J. P., & Nugroho, M. F. A. (2025). **Optimasi Kondisi Pengeringan Terhadap Sifat Kimia Tepung Ubi Kayu Lokal Nuabosi Menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM)**. Agroteknika, 8(2), 179–196.
- Febrianti, Pitaloka, N., & Rifqah, R. A. (2022). **Respon Tanaman Kedelai Edamame (*Glycine Max (L) Merrill*) Terhadap Dosis Pupuk Improbio Tandan Kosong Kelapa Sawit**. Jurnal Ilmiah Respati, 13(2), 1411–1426.
- Fitri, A., Anggia, M., & Wijayanti, R. (2024). **Pengaruh Penambahan CMC (*Carboxy Methyl Cellulose*) Terhadap Karakteristik Minuman Sari Buah Jeruk Manis Pasaman Barat**. Jurnal Teknotan, 18(1), 79–84.
- Fitriyaningtyas, S. I., & Widyaningsih, T. D. (2015). **Pengaruh Penggunaan Lesitin dan CMC Terhadap Sifat Fisik, Kimia dan Organoleptik Margarin Sari Apel Manalagi (*Malus Sylfertris Mill*) Tersuplementasi Minyak Kacang Tanah**. Jurnal Pangan dan Agroindustri, 3(1), 226–236.
- Gani, L. F., & Fauzi, A. R. (2023). **Karakter Pertumbuhan Dan Produksi Kedelai Edamame (*Glycine Max (L.) Merrill*) Pada Perlakuan Jarak Tanam Dan Konsentrasi Paclobutrazol**. Jurnal Agroekoteknologi dan Agribisnis, 7(1), 43–61.
- Halim, N. R. A., Sulistyowati, E., Kaswari, S. R. T., & Mustafa, A. (2024). **Pengaruh Pemberian Edamame Rebus (*Glycine Max (L) Merrill*) Sebagai Camilan Sehat Terhadap Penurunan Tekanan Darah Penderita Hipertensi**. Ghidza: Jurnal Gizi Dan Kesehatan, 8(2), 147–157.
- Hamidatun, Putri, R. N. E. E., & Giyatmi. (2025). **Optimasi Formula Minuman Tablet *Effervescent* Berbahan Dasar Kayu Manis Dan Alginat Menggunakan Teknik *Response Surface Methodology***. Jurnal Ilmu Pangan dan Hasil Pertanian, 9(1), 24–41.
- Harini, N., Marianty, R., & Wahyudi, V. A. (2019). **Analisa Pangan (1st Ed.)**. Zifatama Jawa.

- Hasanah, N., & Anggraeni, N. D. (2023). **Uji Organoleptik Yoghurt Susu Sapi dengan Penambahan Kedelai Edamame (*Glycine Max (L) Merril*).** *National Conference Of Applied Animal Science*, 135–139.
- Hasanah, N., Dewa Gde Mayun Permana, I., & Wayan Wisaniyasa, N. (2020). *The Effect of Almond and Edamame Ratio on The Characteristic of Almond Edamame Milk*. *Jurnal Itepa*, 9(4), 448–457.
- Hesthiati, E., Amelia, A., Nugroho, D., Sukartono, I. G. S., Fatimah, S., & Qomariyah, N. (2024). **Formula Kedelai Kombinasi Kacang Tolo Dengan Penambahan CMC Terhadap Mutu Susu Kedelai-Tolo.** *Jurnal Ilmiah Respati*, 15(2), 226–237.
- Hetrik, M., Fratama, R., Ramadhan, & A., Cahyuda, N. (2024). **Uji Kandungan Protein Pada Mie Sagu.** *Jurnal Agroindustri Pangan*, 3(3), 162–174.
- Hizmadin, A. K., Sumual, & M. F., Djarkasi. (2023). **Penambahan Carboxymethyl Cellulose (CMC) Pada Susu Kacang Kenari (*Canarium Indicum L.*) Untuk Meningkatkan Stabilitas Emulsi dan Tingkat Kesukaan Panelis.** *Jurnal Teknologi Pertanian*, 14(2), 79–89.
- Indis, N. A., Putri, R. P., Choirun, A., Rakhmadevi, A. G., & Rusdiarti, R. (2025). **Analisis Kandungan Protein dan Serat Pada Bakso Ayam Fortifikasi Tepung dan Ekstrak Edamame (*Glycine Max (L) Merrill*).** *Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian Agrotechno*, 10(1), 28–33.
- Istianah, N., Fatmala, Y. U., Ali, D. Y., & Putri, W. D. R. (2025). **Optimasi Proses Penjernihan Nira Sorgum Manis (*Sorghum Bicolor L. Moench*) Menggunakan Sentrifugasi.** *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 13(1), 23–31.
- Jamaludin, C., Indrani, R., Ariani, D., & Muflihati, I. (2024). **Aplikasi Natrium Carboxymethyl Cellulose (NA-CMC) dari Kulit Kacang Kedelai Sebagai Penstabil Yoghurt Susu Sapi.** *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 12(4), 229–241.
- Kamal, N. (2010). **Pengaruh Bahan Aditif CMC (*Carboxymethyl Cellulose*) terhadap Beberapa Parameter Pada Larutan Sukrosa.** *Jurnal Teknologi*, 1(17), 78–85.
- Khoerunniyssa, S., Raharjo, D., & Ardiyantoro, B. (2024). **Optimasi Metode Microwave-Assisted Extraction (MAE) Untuk Menentukan Kadar Flavonoid Total Ekstrak Etanol Kulit Pisang Kepok (*Musa Paradisiaca.L*).** *Jurnal Riset Ilmu Farmasi dan Kesehatan*, 2(6), 133–160.

- Kiptiyah, M., Soeparjono, S., & Sa'diyah, H. (2025). **Aplikasi Dosis Rhizobium dan Konsentrasi Sitokinin Terhadap Pertumbuhan, Hasil, dan Kualitas Kedelai Edamame (*Glycine Max (L.) Merrill*)**. *Agroteknika*, 8(2), 409–428.
- Klinmalai, P., Promhuad, K., Srisa, A., Maliwan, P., & Harnkarnsujarit, N. (2026). ***Valorization of Edamame by Protein Extraction and Fortification of Edamame Milk: Effects on Physicochemical and Functional Quality***. *LWT*, 247, 1–14.
- Klinmalai, P., Promhuad, K., Srisa, A., Sathawarintu, A., & Harnkarnsujarit, N. (2025). ***Co-Formulation of Edamame-Based Beverage with Coconut Derivatives Enhances Nutritional Quality, Antioxidant Capacity, Flavor Profile, and Physical Stability***. *Foods*, 14(19), 1–18.
- Kusuma, H. A. W., Kumalaningsih, S., & Pranowo, D. (2019). **Optimasi Suhu dan Konsentrasi Maltodekstrin Pada Proses Pembuatan Serbuk Lobak dengan Metode *Foam Mat Drying***. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*, 8(3), 171–182.
- Latifasari, N., Kurniawati, A. D., Raharditya, C., & Cahyani, S. A. (2025). **Pengaruh Reformulasi *Yogurt Drink* Sehati Menggunakan CMC (*Carboxymethyl Cellulose*) Terhadap Sifat Fisikokimia Selama Penyimpanan Dingin**. *Jurnal Agroindustri*, 15(2), 254–263.
- Maris, I., & Radiansyah, M. R. (2021). ***Review of Plant-Based Milk Utilization as a Substitute for Animal Milk***. *Food Scientia: Journal of Food Science and Technology*, 1(2), 103–116.
- Martínez-Villaluenga, C., Peñas, E., & Hernández-Ledesma, B. (2020). ***Pseudocereal Grains: Nutritional Value, Health Benefits and Current Applications for the Development of Gluten-Free Foods***. *Food And Chemical Toxicology*, 137, 111178.
- Maulana, F. S., Sakti, A. M., Sofi, N. A., & Riandadari, D. (2026). **Pengaruh Kecepatan dan Waktu Sentrifugasi Terhadap Viskositas Susu Kedelai Menggunakan Alat Sentrifugal Skala Laboratorium**. *Jurnal Rekayasa Mesin (RJM)*, 11(1), 701–707.
- Mustofa, J., Widjanarko, S. B., & Mubarak, A. Z. (2024). ***Formulation of Glucomannan Flour From Porang (*Amorphophallus Muelleri Blume*) and Palm Sugar (*Arenga Pinnata*) in Soy Milk Production Using Mixture Optimal Custom Design Method***. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 25(1), 77–92.
- Nadhiroh, U., Wahono, D., & Susanto, H. (2017). **Pengaruh Volume Minyak Goreng Dan Bentuk Biji Edamame (*Glycine Max L. Meriil*) Terhadap**

- Karakteristik Produk Edamame Goreng Metode Penggorengan Vakum.** Jurnal Pangan Dan Agroindustri, 5(1), 26–37.
- Nirmagustina, D. E., & Rani, H. (2013). **Pengaruh Jenis Kedelai dan Jumlah Air Terhadap Sifat Fisik, Organoleptik dan Kimia Susu Kedelai.** Jurnal Teknologi Industri dan Hasil Pertanian, 18(2), 168–174.
- Nur, R., Lioe, H. N., Palupi, N. S., & Nurtama, B. (2018). **Optimasi Formula Sari Edamame dengan Proses Pasteurisasi Berdasarkan Karakteristik Kimia Dan Sensori.** Jurnal Mutu Pangan, 5(2), 88–99.
- Nurhidayat, A. S., & Mardawati, E. (2022). **Aplikasi Metode *Promethee* dalam Kajian Potensi Bahan Baku Nabati Untuk Produksi Lesitin Halal.** *Journal Of Information System And Informatics Engineering*, 6(1), 8–14.
- Octaviani, M. A., Dewi, D. R. S., & Asrini, L. J. (2017). **Optimasi Faktor Yang Berpengaruh Pada Kualitas Lilin Di UD.X Dengan Metode *Response Surface*.** Jurnal Ilmiah Widya Teknik, 16(1), 29–38.
- Octaviani, P. A., Pramono, Y. B., & Pratama, Y. (2020). **Indeks Sedimentasi, Viskositas, dan Sifat Sensoris *Milk Malt* Beras Merah dengan Penambahan Pestabil dari Jenis yang Berbeda.** Jurnal Teknologi Pangan, 4(1), 17–22.
- Pambudi, Singgih. (2013). **Budidaya dan Khasiat Kedelai Edamame.** Yogyakarta : Pustaka Baru Press.
- Panou, A., & Karabagias, I. K. (2025). ***Composition, Properties, and Beneficial Effects of Functional Beverages on Human Health.*** *Beverages*, 11(40), 1–23.
- Pérez-Rodríguez, M. L., Serrano-Carretero, A., García-Herrera, P., Cámara-Hurtado, M., & Sánchez-Mata, M. C. (2023). ***Plant-Based Beverages as Milk Alternatives? Nutritional and Functional Approach Through Food Labelling.*** *Food Research International*, 173, 1–11.
- Prabudi, M., Nurtama, B., & Purnomo, E. H. (2018). **Aplikasi *Response Surface Methodology (RSM)* dengan *Historical Data* Pada Optimasi Proses Produksi Burger.** Jurnal Mutu Pangan, 5(2), 109–115.
- Priscilla, V., Pantjajani, T., Irawati, F. 2020. **Kefir Susu Nabati Engan Penambahan Kulit Isang Tanduk (*Musa paradisiaca* Var. *corniculata*).** KELUWIH: Jurnal Sains dan Teknologi, 1(2): 15-28.
- Puspitasari, A. D., Murwati, D. B., & Irawan, I. (2018). **Pengaruh Suhu dan Lama Penyimpanan Terhadap Kadar Lesitin Dalam Susu Kedelai dan**

- Soygurt Secara Spektrofotometri UV-VIS.** Jurnal Ilmiah Teknosains, 4(2), 62–68.
- Putra, R. T., Al-Barrii, A. N., & Hintono, A. (2024). *The Influence of Salt Addition on Off-Flavors in Edamame Milk (Glycine Max L.)*. Jurnal Teknologi Pangan, 8(1), 18–21.
- Qamariah, N., Handayani, R., & Mahendra, A. I. (2022). *Hedonik Test and Storage Test Extract Ethanol the Tubers of Hati Tanah*. Jurnal Surya Medika, 7(2), 124–131.
- Rahayu, N. S., Sulaeman, A., Setiawan, B., & Siregar, M. H. (2026). *Analysis of Vifferences in Viscosity of Coconut Milk and Milk*. Arsip Keilmuan Gizi (AKG), 2(1), 13–20.
- Rahmawati, I., Fachri, A. B., Nurtsulutsiyah, Manurung, Y. H., Reza, M., Palupi, B., Fitri Rizkiana, M., & Wika Amini, H. (2022). *Penerapan Response Surface Methodology dalam Optimasi Kondisi Proses Ekstraksi Antosianin Pada Limbah Kulit Kakao dengan Metode Maserasi Menggunakan Pelarut Etanol*. Jurnal Kimia dan Terapannya, 6(1), 24–31.
- Rahmawati, T., Zaini, M. A., & Kisworo, D. (2018). *Pengaruh Penambahan Konsentrasi Lesitin Kedelai Terhadap Sifat Fisik, Sifat Kimia Dan Sifat Sensoris Es Krim Sari Jagung Manis*.
- Raissi, S. dan R. E. Farzani. (2009). *Statistical Optimization through Multi-Response Surface Methodology*. World Academi of Science: Engineering and Technology: 267-271.
- Ramadhani, R. A., Riyadi, D. H. S., Triwibowo, B., & Kusumaningtyas, R. D. (2017). *Review Pemanfaatan Design Expert Untuk Optimasi Komposisi Campuran Minyak Nabati Sebagai Bahan Baku Sintesis Biodiesel*. Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan, 1(1), 11–16.
- Reji, M., & Kumar, R. (2022). *Response Surface Methodology (RSM): An Overview to Analyze Multivariate Data*. Indian Journal of Microbiology Research, 9(4), 241–248.
- Risandi, L., Holinesti, R., Faridah, A., & Mustika, S. (2023). *The Effect of Adding CMC (Carboxymethyl Cellulose) to The Quality of Purpel Sweet Potato Jam*. Jurnal Pendidikan Tata Boga dan Teknologi, 4(2), 298–305.
- Risiana, F., Hajrin, W., & Pratiwi, E. D. (2021). *Optimasi Formula Sediaan Sampo Ekstrak Etanol Daun Kirinyuh (Chromolaena Odorata) dengan Kombinasi Surfaktan*. Sasambo Journal of Pharmacy, (1), 1–16.

- Rohman, E., & Maharani, S. (2020). *The Role of Color, Viscosity, and Syneresis on Yogurt Products*. *EDUFORTECH*, 5(2), 97–07.
- Rosiana, N. M., & Amareta, D. I. (2016). **Karakteristik Yogurt Edamame Hasil Fermentasi Kultur Campuran Bakteri Asam Laktat Komersial Sebagai Pangan Fungsional Berbasis Biji-Bijian**. *Jurnal Ilmiah Inovasi*, 1(2), 84–88.
- Rukmana, J. (2018). **Optimasi Formulasi Biskuit Tepung Jerami Nangka Sebagai Sumber Pangan Fungsional (Betakaroten)**. *Pasundan Food Technology Journal*, 5(3), 164–166.
- Rukmana, J., Ikrawan, Y., Rohima, I. E., Anggraeni, C., & Salam, W. Q. (2023). **Evaluasi Mutu Produk Akhir Minuman Pasteurisasi Pada Unit Line Proses Produksi di Prodi Teknologi Pangan Fakultas Teknik Universitas Pasundan**. *Pasundan Food Technology Journal*, 10(1), 25–34.
- Rustandi, R. R., & Taufiq, R. (2024). **Inovasi Minuman Berprotein Tinggi Berbasis Whey Dan Oatmeal**. *Open Journal System*, 19(2), 3677–3686.
- Sabariman, M., Wahyuningtias, E. S., & Azni, I. N. (2022). **Formulasi Jus Kurma dan Sari Kedelai dalam Pembuatan Jus Kurma Soya**. *Jurnal Teknologi Pangan Kesehatan*, 4, 55–66.
- Sa'diyah, H. (2025). **Analisis Kadar Karbohidrat Dan Viskositas Pada Minuman Fungsional Nabati (Kedelai Dan Jagung) dengan Variasi Penambahan Kacang Hijau, Kacang Merah Dan Beras Merah**. *Media Ilmiah Kesehatan Indonesia*, 3(3), 124–134.
- Saputra, D., Winahyu, A., & Nusantara, C. S. (2025). *Hedonic Test and Determination of Protein Content of Functional Drink from Moringa Leaf Flour, Green Beans and Bananas Using The Kjeldahl Method*. *Jurnal Analisis Farmasi*, 100(1), 69–83.
- Sarah, D., Sandrasari, D. A., & Sabariman, M. (2025). **Karakteristik Sifat Fisikokimia Minuman Fungsional Ekstrak Bunga Rosella dengan Penambahan Andaliman**. *Jurnal Teknologi Pangan Kesehatan*, (2), 73–76.
- Sentana, A., Trisnawati, C. Y., Astadi, R., & Jati, P. (2017). **Identifikasi Sifat Fisikokimia dan Organoleptik Susu Nabati yang dengan Linear Programing**. *Jurnal Teknologi Pangan Dan Gizi*, 16(2), 47–51.
- Septiani, M. S., Utami, I., Mardiah, Amalia, L., & Aminah, S. (2023). **Optimasi Minuman Serbuk Berbasis Rosela (*Hibiscus Sabdariffa L*) Menggunakan Metode Response Surface Methodology (RSM)**. *Jurnal Agroindustri Halal*, 9(2), 206–217.

- Setiawati, C., Kamsina, K., Anova, I. T., Firdausni, F., & Diza, Y. H. (2021). **Pengaruh Penambahan *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) dan Asam Sitrat Terhadap Mutu dan Ketahanan Simpan Susu Jagung.** *Jurnal Litbang Industri*, 11(2), 132–137.
- Setyani, Z. C., Widyaningsih, T. D., & Ali, D. Y. (2022). **Pengaruh Suhu dan Lama Penyimpanan Terhadap Karakteristik Fisik dan Kimia Susu Bubuk Edamame.** *Jurnal Teknologi Pangan*, 16(2), 18–30.
- Simanungkalit, R. C., & Nasution, R. B. (2023). ***Utilization of Carboxymethyl Cellulose (CMC) From Coconut Coir Waste (Cocos Nucifera) As A Stabilizer In Red Bean (Phaseolus Vulgaris L) Vegetable Milk.*** *Journal of Chemical Natural Resources*, 5(1), 26–34.
- Sitohang, A. C., Naibaho, N. M., & Sari, R. A. (2024). **Pengaruh Waktu Perebusan Terhadap Nilai Gizi, Total Padatan Terlarut Dan Karakteristik Sensoris Susu Biji Nangka (*Artocarpus Heterophyllus*).** *Journal Of Tropical Agrifood*, 6(1), 17–26.
- Sivaji, S., Gunasekaran, S., Saengrayap, R., Mahajan, P., Trongsatitkul, T., Wu, D., Vadakkan, K., Sukrong, S., & Chaiwong, S. (2025). ***Response Surface Methodology In Postharvest and Food Technology Research: A Bibliometric Assessment.*** *Applied Food Research*, 5(2), 1–16.
- Sulistiyono, F. D., Almasyhuri, A., & Mukrim, R. F. (2022). **Formulasi Sediaan Obat Kumur Kombinasi Ekstrak Daun Jambu Biji (*Psidium Guajava L.*) dan Daun Pandan Wangi (*Pandanus Amaryllifolius Roxb.*).** *Chimica Et Natura Acta*, 10(1), 22–25.
- Suseno, N., Savitri, E., Adiarto, T., Soetikno, M. N., & Kusuma, R. A. (2025). **Pengaruh Komposisi *Virgin Coconut Oil* dan *Xanthan Gum* Terhadap Kestabilan Emulsi Pada Minuman Kacang Hijau.** *Jurnal Teknik Kimia*, 20(2), 93.
- Susi, Yani, F. Z., Batubara, S. C., Sandrasari, D. A., & Pratignjo, L. S. (2024). **Mutu Minuman Sari Tempe dengan Penambahan Konsentrasi Sari Markisa Ungu dan Carboxymetyl Cellulose (CMC) yang Berbeda.** *Jurnal Teknologi Pangan Kesehatan*, 6, 92–107.
- Susilawati, Sugiharto, R., & Damaiyanti, S. M. (2016). ***Formulation Of Virgin Coconut Oil (VCO) and Emulsifier Lecithin of Soy on The Emultion Stability and Sensory Characteristic Of Red Beans Paste.*** *Jurnal Teknologi Industri & Hasil Pertanian*, 21(1), 42–50.

- Sutanto, & Rohadi, N. (2020). **Pengaruh Penambahan Garam Dapur (NaCl) Terhadap Perubahan Arus Listrik dan Kandungan Logam Pada Pengolahan Air Limbah Industri Secara Elektrokoagulasi.** Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro, 119–126.
- Sutrisno, A. D., Taufik, Y., Wijaya, W. P., & Komala, D. R. (2019). **Pengaruh Perbandingan Sari Edamame (*Glycin Max L. Merrill*) dengan Sari Black Mulberry (*Morus Nigra L.*) dan Konsenterasi Penstabil Karakteristik Minuman Edamuberry.** *Pasundan Food Technology Journal*, 6(3), 128–135.
- Syafruddin, & Munawar. (2024). **Pemurnian Garam Lokal Untuk Konsumsi Industri.** *Journal Of Science and Technology*, 22(01), 110–114.
- Talitha, Z. A., Wahyuningtyas, A., & Putri, A. N. (2025). **Karakteristik Kimia Snack Bar Anggur Laut dan Edamame dengan Variasi Penambahan Tepung Tempe dan Mocaf.** *Jurnal Teknologi dan Mutu Pangan*, 4(1), 32–44.
- Tarwendah, I. (2017). ***Comparative Study Of Sensory Attributes and Brand Awareness In Food Product : A Review.*** *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 5(2), 66–73.
- Tio Larosta, J., Gde Mayun Permana, D., & Made Sugitha, I. (2019). **Pengaruh Perbandingan Jagung Manis dan Edamame Terhadap Karakteristik Susu Jagung Manis Edamame.** *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*, 8(4), 398–407.
- Tsuraya, H. A., Nurrahman, & Aminah, S. (2024). **Aktivitas Antioksidan, Warna, Viskositas, dan Tingkat Kestabilan Pada Minuman Sari Labu Kuning dengan Penambahan Tepung Porang.** *Seminar Nasional UNIMUS*, 52–61.
- Utomo, D., & Ariska, S. B. (2020). **Kualitas Minuman Serbuk Instan Sereh (*Cymbopogon Citratus*) Dengan Metode *Foam Mat Drying*.** *Media Informasi dan Komunikasi Ilmiah Teknologi Pertanian*, 11(1), 42–51.
- Utomo, D., & Rizkiyah, L. (2020). **Pengaruh Lama Perendaman Dan Persentase *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) Terhadap Karakteristik Susu Kecambah Kedelai (*Glycine Max (L.) Merr.*).** *Media Informasi dan Komunikasi Ilmiah Teknologi Pertanian*, 11(2), 171–181.
- Wahyuningrum, R., Ilyas, I. L., Pratiwi, I. S., Nabila, A. A., Saputri, A., Sartika, D., Sani, F., Firdaus, H., Sari, R. P., Sari, W. W., Syafira, N. A., Waris, A., & Aulia, D. A. (2025). **Review Artikel: Viskositas Sediaan Farmasi (Emulsi,**

- Suspensi, Krim, Gel, Pasta) Artikel Review.** Jurnal Kolaboratif Sains, 8(12), 8011–8019.
- Wayan, N., Dewi, R., Hamidah, S., & Lastariwati, B. (2019). **Susu Edamame Jelly Kelor Sebagai Alternatif Minuman Untuk Perbaikan Gizi Anak.** *HEJ (Home Economics Journal)*, 3(2), 38–61.
- Wijaya, H. M., & Lina, R. N. (2021). **Formulasi Dan Evaluasi Fisik Sediaan Suspensi Ekstrak Biji Pepaya (*Carica Papaya L.*) dan Umbi Rumpuk Teki (*Cyperus Rotundus L.*) dengan Variasi Konsentrasi *Suspending Agent* PGA (*Pulvis Gummi Arabici*) dan CMC-NA (*Carboxymethylcellulosum Natrium*).** *Cendekia Journal Of Pharmacy*, 5, 166–175.
- Wulandari, D. C., & Widyaningsih, T. D. (2025). ***Optimization Of Dipping Jamu Sinom Formula Using D-Optimal Mixture Design Method.*** Jurnal Teknologi Pangan, 19(1), 36–55.
- Yudhistira Widarsaputra, A., Eka Prawatya, Y., & Sujana, I. (2022). ***Response Surface Methodology (RSM) Untuk Optimasi Pengolahan Keripik Nanas Menggunakan Mesin Vacuum Frying.*** *Industrial Engineering and Management System*, 6(2), 70–77.
- Yusya, M. A., Talitha, Z. A., & Rizky Ramanda, M. (2023). **Pengaruh Kombinasi Jagung Manis dan Kacang Hijau Terhadap Karakteristik Fisikokimia dan Organoleptik Minuman Sari Nabati.** *J. Sains dan Teknologi Pangan*, 8(6), 6783–6805.
- Zulfa, F., Rochmah, A. N., Febriana, Y., Abdi, R., Suleman, D. P., Nadhilah, D., Rizki, P. R., Dewi, E. P., Putri, K. R., Zinda, S., & Alya, Z. N. (2025). **Pengaruh Hidrokoloid Sebagai Pengemulsi Terhadap Nutrisi, Antioksidan dan Titik Leleh Coklat Susu Almond (*Prunus Dulcis*).** *Journal Of Food and Agricultural Product*, 5(1), 114–124.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Prosedur Analisis Kadar Protein Metode Kjeldahl (AOAC, 2005)

Pengujian dilakukan dengan menimbang bahan sebanyak 1 gram dan dimasukkan kedalam labu kjedahl. Selanjutnya ditambahkan 5 gram garam kjedahl dan batu didih, lalu ditambahkan 25 mL asam sulfat pekat (H_2SO_4) dengan kemiringan 45° melalu dinding labu kemudian didestruksi sampai larutan jernih. Sebanyak 25 mL larutan sampel hasil destruksi kemudian dimasukkan kedalam labu destilasi dan ditambahkan 20 mL NaOH 30%, serta butir granula Zn dan dilanjut proses destilasi. Selama proses destilasi, destilat ditampung kedalam adaptor tercelup HCL 0,1N. Proses destilasi dihentikan apabila destilat telah menjadi asam yang ditandai dengan berubahnya warna indikator menjadi merah. Hasil destilat yang tertampung dalam HCL 0,1N kemudian ditambahkan 2 tetes indikator PP dan dititrasi dengan larutan baku NaOH 0,1N hingga TAT akhir berwarna merah. Kadar protein dapat dihitung dengan rumus:

$$\begin{aligned}\% \text{Nitrogen} &= \frac{(Vb - Vt) \times N \text{ NaOH} \times BE \text{ N} \times FP}{\text{Bobot sampel [g]} \times 1000} \times 100 \\ \text{Protein (\%)} &= \% \text{Nitrogen} \times FK\end{aligned}$$

Keterangan:

Vb = Volume blanko

Vt = Volume titrasi

N NaOH = Normalitas NaOH

BE N = Berat ekivalen N

FP = Faktor pengenceran

FK = Faktor konversi

Perhitungan Penelitian Pendahuluan Analisis Kadar Protein:

Tabel 30. Data Perhitungan Penelitian Pendahuluan Analisis Kadar Protein (%)

Sampel		W sampel (g)	Volume Titrasi (mL)	Kadar Protein (%)	Rata-Rata Kadar Protein (%)
Edamame	1	2,009	23,30	12,72	12,48
	2	2,020	23,40	12,23	

Rumus:

$$\% \text{Nitrogen} = \frac{(Vb - Vt) \times N \text{ NaOH} \times BE \text{ N} \times FP}{\text{Bobot sampel [g]} \times 1000} \times 100$$

$$\% \text{Protein} = \% \text{Nitrogen} \times \text{FK}$$

Tabel 31. Perhitungan Penelitian Pendahuluan Kadar Protein

1	2
W sampel = 2,009 gram	W sampel = 2,020 gram
Vb = 26,30 mL	Vb = 26,30 mL
Vt = 23,30 mL	Vt = 23,40 mL
N NaOH = 0,0973 N	N NaOH = 0,0973 N
BE N = 14,008 g/mol	BE N = 14,008 g/mol
FP = $\frac{100}{10}$	FP = $\frac{100}{10}$
FK = 6,25	FK = 6,25
Perhitungan:	Perhitungan:
$\% \text{Nitrogen} = \frac{(26,30 - 23,30) \times 0,0973 \times 14,008 \times \frac{100}{10}}{2,009 \times 1000} \times 100$ $= 2,04\%$	$\% \text{Nitrogen} = \frac{(26,30 - 23,40) \times 0,0973 \times 14,008 \times \frac{100}{10}}{2,020 \times 1000} \times 100$ $= 1,96\%$
$\text{Protein (\%)} = 2,04\% \times 6,25$ $= 12,72\%$	$\text{Protein (\%)} = 1,96\% \times 6,25$ $= 12,23\%$
Rata-rata: 12,48%	

Perhitungan Penelitian Utama Analisis Kadar Protein:

Tabel 32. Data Perhitungan Hasil Analisis Kadar Protein (%)

Kode		Wsampel (g)	Volume Titrasi (mL)	Kadar Protein (%)	Rata-Rata Kadar Protein (%)
F1	1	2,011	25,10	5,08	4,64
	2	2,026	25,30	4,20	
F2	1	2,004	24,70	6,80	6,37
	2	2,010	24,90	5,93	
F3	1	2,011	24,20	8,90	8,69
	2	2,006	24,30	8,49	
F4	1	2,031	25,50	3,36	2,95
	2	2,012	25,70	2,54	
F5	1	2,010	24,90	5,93	5,94
	2	2,008	24,90	5,94	
F6	1	2,005	24,60	7,22	7,43
	2	2,009	24,50	7,63	
F7	1	2,005	25,40	3,82	4,02
	2	2,016	25,30	4,23	
F8	1	2,009	24,30	8,48	8,89
	2	2,015	24,10	9,30	
F9	1	2,020	24,10	9,28	8,66
	2	2,015	24,40	8,03	
F10	1	2,012	24,80	6,35	7,00
	2	2,007	24,50	7,64	
F11	1	2,006	24,40	8,07	7,63
	2	2,015	24,60	7,19	
F12	1	2,006	24,00	9,77	8,91
	2	2,010	24,40	8,05	
F13	1	2,004	25,50	3,40	3,18
	2	2,018	25,60	2,95	
F14	1	2,010	24,30	8,48	8,06
	2	2,004	24,50	7,65	
F15	1	2,006	25,80	2,12	2,54
	2	2,021	25,60	2,95	

Rumus:

$\% \text{Nitrogen} = \frac{(Vb - Vt) \times N \text{ NaOH} \times BE \text{ N} \times FP}{\text{Bobot sampel [g]} \times 1000} \times 100$ $\text{Protein (\%)} = \% \text{Nitrogen} \times FK$
--

Tabel 33. Perhitungan Kadar Protein Formulasi 1

1	2
W sampel = 2,011 gram	W sampel = 2,026 gram
Vb = 26,30 mL	Vb = 26,30 mL
Vt = 25,10 mL	Vt = 25,30 mL
N NaOH = 0,0973 N	N NaOH = 0,0973 N
BE N = 14,008 g/mol	BE N = 14,008 g/mol
FP = $\frac{100}{10}$	FP = $\frac{100}{10}$
FK = 6,25	FK = 6,25
Perhitungan:	Perhitungan:
$\% \text{Nitrogen} = \frac{(26,30 - 25,10) \times 0,0973 \times 14,008 \times \frac{100}{10}}{2,011 \times 1000} \times 100$ $= 0,81\%$	$\% \text{Nitrogen} = \frac{(26,30 - 25,30) \times 0,0973 \times 14,008 \times \frac{100}{10}}{2,026 \times 1000} \times 100$ $= 0,67\%$
$\text{Protein (\%)} = 0,81\% \times 6,25$ $= 4,64\%$	$\text{Protein (\%)} = 0,67\% \times 6,25$ $= 4,20\%$
Rata-rata: 4,64%	

Lampiran 2. Prosedur Analisis Kadar Lemak Metode Soxhlet (Talitha et al., 2025)

Pengujian dimulai dengan mengeringkan labu lemak dalam oven selama 1 jam dengan suhu 105°C. Setelah pengeringan, labu didinginkan didalam deksikator selama 15 menit kemudian ditimbang. Timbang sampel yang sudah dihaluskan sebanyak 5 gram yang dibungkus dengan kertas saring. Sampel dimasukan ke dalam tabung ekstraksi soxhlet, setelah itu ditambahkan pelarut N-Heksana ke dalam labu hingga cukup untuk ekstraksi selama 3 jam. Pelarut dalam labu akan dipisahkan melalui proses destilasi. Labu yang berisi lemak dikeringkan kembali dalam oven selama 1 jam dengan suhu 105°C dan didinginkan di deksikator selama 15 menit. Labu kemudian ditimbang sehingga kadar lemak dalam sampel dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar Lemak (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100$$

Keterangan: W_1 = Berat labu hasil ekstraksi (gram)

W_2 = Berat labu kosong (gram)

W = Berat sampel (gram)

Perhitungan Penelitian Pendahuluan Analisis Kadar Lemak:

Diketahui:

$$W_1 = 107,617 \text{ gram}$$

$$W_2 = 107,356 \text{ gram}$$

$$W = 5,037 \text{ gram}$$

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Kadar Lemak (\%)} &= \frac{107,617 - 107,356}{5,037} \times 100 \\ &= 5,18\% \end{aligned}$$

Lampiran 3. Prosedur Pengujian Viskositas Metode *Brookfield* (AOAC, 2005)

Pengujian viskositas diukur menggunakan alat *Brookfield Viscometer*. Sampel 100 mL dimasukkan kedalam gelas kimia dan pada *viscometer* dipasang *spindle* sesuai dengan jenis cairan yang akan diukur dengan kecepatan 100 rpm (standar). Selanjutnya, alat dinyalakan dan biarkan *spindle* berputar hingga nilai keluar pada layar *viscometer*.

Perhitungan Penelitian Utama Analisis Viskositas:

Tabel 34. Data Perhitungan Hasil Analisis Viskositas (cP)

Kode		Viskositas (cP)	Rata-Rata Viskositas (cP)
F1	1	318	319,5
	2	321	
F2	1	390	391
	2	392	
F3	1	406	407
	2	408	
F4	1	316	318
	2	320	
F5	1	387	387,5
	2	388	
F6	1	364	362
	2	360	
F7	1	295	297
	2	299	
F8	1	408	409
	2	410	
F9	1	345	346
	2	347	
F10	1	372	370
	2	368	
F11	1	385	386
	2	387	
F12	1	414	415,5
	2	417	
F13	1	348	350
	2	352	
F14	1	369	367
	2	367	
F15	1	346	348
	2	350	

Lampiran 4. Prosedur Pengujian Stabilitas Fisik (Octaviani et al., 2020)

Pada pengujian stabilitas fisik, sampel disiapkan sebanyak 30 mL dan dimasukkan ke dalam *tube sentrifuge*. Suspensi disentrifugasi pada kecepatan 2000 rpm selama 25 menit dengan menggunakan *sentrifuge*. Supernatan dipisahkan dari sedimen dengan cara isi *tube sentrifuge* dituang perlahan hingga tersisa sedimen yang masih menempel pada dinding *tube sentrifuge*.

$$\text{Stabilitas (\%)} = \frac{V - V_s}{V} \times 100$$

Keterangan:

VS = Volume sedimentasi (mL)

V = Volume total sampel (mL)

Perhitungan Penelitian Utama Analisis Stabilitas Fisik:

Tabel 35. Data Perhitungan Hasil Stabilitas Fisik (%)

Kode		Volume Sampel (mL)	Volume Sedimentasi (mL)	Stabilitas Fisik (%)	Rata-Rata Stabilitas Fisik (%)
F1	1	30	8,2	72,67	72,00
	2	30	8,6	71,33	
F2	1	30	6,1	79,67	79,33
	2	30	6,3	79,00	
F3	1	30	5,9	80,33	80,17
	2	30	6	80,00	
F4	1	30	8,9	70,33	69,83
	2	30	9,2	69,33	
F5	1	30	5,5	81,67	81,50
	2	30	5,6	81,33	
F6	1	30	7,1	76,33	76,67
	2	30	6,9	77,00	
F7	1	30	8,3	72,33	71,67
	2	30	8,7	71,00	
F8	1	30	5,1	83,00	82,50
	2	30	5,4	82,00	
F9	1	30	7,7	74,33	74,50
	2	30	7,6	74,67	
F10	1	30	6,9	77,00	77,50
	2	30	6,6	78,00	
F11	1	30	6,4	78,67	78,33
	2	30	6,6	78,00	
F12	1	30	4,7	84,33	83,83
	2	30	5	83,33	
F13	1	30	7,3	75,67	75,67
	2	30	7,3	75,67	
F14	1	30	7	76,67	77,00
	2	30	6,8	77,33	
F15	1	30	8,1	73,00	72,83
	2	30	8,2	72,67	

Rumus:

$$\text{Stabilitas (\%)} = \frac{V - V_s}{V} \times 100$$

Tabel 36. Perhitungan Stabilitas Fisik Formulasi 1

1	2
V sampel = 30 mL V sedimentasi = 8,2 mL Perhitungan: $\text{Stabilitas (\%)} = \frac{30 - 8,2}{30} \times 100$ $= 72,67\%$	V sampel = 30 mL V sedimentasi = 8,6 mL Perhitungan: $\text{Stabilitas (\%)} = \frac{30 - 8,6}{30} \times 100$ $= 71,33\%$
Rata-rata: 72,00%	

Lampiran 6. Hasil Penelitian Utama Respon Organoleptik Atribut Warna

Tabel 37. Data Hasil Respon Organoleptik Atribut Warna

Panelis	KODE SAMPEL														
	428	761	315	892	546	137	684	259	973	401	825	196	734	582	347
1	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	2	5	5	5
2	4	5	4	4	5	4	4	4	5	4	5	3	4	4	4
3	6	6	5	6	6	6	5	6	6	6	6	5	6	5	6
4	2	4	2	3	1	3	3	4	4	2	5	1	3	4	3
5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	3	5	4	3
6	5	5	5	5	4	4	6	4	5	5	5	3	6	4	5
7	4	3	4	4	3	5	4	2	4	4	4	1	3	3	3
8	4	3	3	4	3	5	4	5	4	4	4	2	3	3	3
9	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5
10	4	5	4	4	4	5	4	4	5	3	5	2	4	3	4
11	4	4	3	4	3	3	3	4	4	4	3	4	3	5	4
12	5	5	5	4	3	5	3	4	5	3	4	2	5	4	4
13	5	4	5	4	3	3	4	5	5	5	5	2	4	4	5
14	5	5	4	6	4	5	5	5	5	4	6	3	5	5	5
15	4	4	4	3	3	4	3	3	5	3	3	4	4	1	4
16	5	5	5	5	5	6	5	4	5	5	5	2	5	4	5
17	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	3	4	4	4
18	4	4	5	5	4	4	5	5	4	4	4	3	4	5	4
19	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	3	5	5	4
20	3	5	5	5	5	5	5	5	5	4	6	4	5	4	5
21	3	4	2	3	3	6	3	3	5	4	6	2	3	4	3
22	4	3	3	4	3	5	4	3	6	3	6	3	4	3	4
23	3	3	4	2	4	6	3	4	4	3	5	3	4	3	3
24	4	4	3	3	3	4	4	3	6	4	5	2	3	4	3
25	2	3	3	4	2	6	3	2	5	3	6	3	3	2	4
26	3	4	4	3	3	5	3	3	6	4	4	3	4	3	3
27	4	2	3	3	4	6	4	3	5	3	5	2	3	4	2
28	3	3	2	4	3	5	3	4	6	3	6	3	4	3	3
29	4	3	3	3	2	6	4	2	4	4	6	3	4	3	4
30	3	4	4	3	4	5	3	3	6	4	5	2	3	4	3
JUMLAH	121	125	119	123	111	146	122	118	149	117	149	82	123	114	117
RATA RATA	4,03	4,17	3,97	4,10	3,70	4,87	4,07	3,93	4,97	3,90	4,97	2,73	4,10	3,80	3,90

Lampiran 7. Hasil Penelitian Utama Respon Organoleptik Atribut Aroma

Tabel 38. Data Hasil Respon Organoleptik Atribut Aroma

Panelis	KODE SAMPEL														
	428	761	315	892	546	137	684	259	973	401	825	196	734	582	347
1	1	2	2	1	1	3	2	1	3	1	1	1	2	1	1
2	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	4	3
3	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
4	2	5	4	4	2	4	4	3	2	3	3	1	2	1	1
5	4	4	5	4	4	4	5	4	3	4	5	4	4	3	3
6	4	5	4	4	4	5	5	3	4	5	5	4	4	3	5
7	2	1	1	1	2	2	2	1	1	2	1	1	2	1	2
8	4	2	3	2	4	5	3	3	2	4	2	3	3	2	3
9	4	4	4	4	5	4	4	3	4	4	4	5	3	3	3
10	5	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	2	2
11	2	5	3	5	4	4	4	3	4	4	3	4	4	2	3
12	2	3	4	3	2	3	4	2	2	3	2	2	2	3	1
13	3	2	4	2	3	3	4	3	4	4	4	2	4	1	2
14	5	5	4	4	4	4	4	5	4	5	5	4	4	3	5
15	4	3	3	4	3	5	3	2	3	3	5	4	4	2	3
16	3	4	5	5	5	5	4	3	4	5	4	2	3	3	3
17	4	3	3	4	4	3	4	5	3	4	4	4	3	4	4
18	5	4	3	3	4	4	4	4	4	3	3	4	5	4	5
19	3	3	4	3	5	4	3	4	3	4	4	3	3	3	4
20	4	3	4	4	3	4	3	3	4	3	4	3	4	3	3
21	3	2	3	4	4	6	4	3	4	5	3	3	2	3	4
22	4	1	2	4	4	5	5	1	3	6	4	4	3	5	2
23	2	3	1	3	2	4	6	2	5	4	2	2	1	5	3
24	2	1	1	3	3	6	6	3	3	5	3	4	3	5	2
25	4	2	3	3	2	5	4	2	4	4	3	3	2	3	4
26	3	3	2	4	3	4	5	1	4	6	3	3	3	4	2
27	3	3	1	4	4	6	4	3	3	5	4	4	2	4	3
28	2	2	3	4	2	6	4	3	4	4	3	4	3	4	2
29	4	4	2	3	4	4	5	2	3	4	3	3	5	3	4
30	3	3	1	2	4	5	6	1	5	5	4	2	2	5	2
JUMLAH	98	93	91	103	103	129	124	84	103	120	102	94	93	94	89
RATA RATA	3,27	3,10	3,03	3,43	3,43	4,30	4,13	2,80	3,43	4,00	3,40	3,13	3,10	3,13	2,97

Lampiran 8. Hasil Penelitian Utama Respon Organoleptik Atribut Rasa

Tabel 39. Data Hasil Respon Organoleptik Atribut Rasa

Panelis	KODE SAMPEL														
	428	761	315	892	546	137	684	259	973	401	825	196	734	582	347
1	5	4	3	4	3	4	3	3	4	4	4	1	4	3	3
2	4	5	3	4	5	3	5	3	4	4	4	4	4	4	3
3	5	5	4	3	5	4	4	4	5	5	4	4	5	4	3
4	3	5	4	3	4	3	4	1	4	5	4	4	2	1	1
5	5	5	6	4	5	3	6	5	4	5	6	5	4	3	3
6	3	3	2	4	2	5	3	2	4	3	3	2	3	1	2
7	2	1	3	3	4	3	5	2	1	2	3	3	1	1	1
8	3	3	4	3	2	4	4	2	3	3	4	3	2	2	2
9	3	4	3	4	4	3	4	3	5	4	4	1	4	2	3
10	5	4	5	3	4	5	4	4	4	5	4	3	3	1	1
11	5	5	3	4	5	3	4	4	4	4	4	2	2	2	1
12	3	4	3	5	3	5	4	2	4	3	4	2	3	3	3
13	4	2	4	3	4	3	4	2	3	5	5	2	4	3	4
14	4	4	6	3	6	5	4	5	4	5	5	3	3	2	2
15	5	5	5	4	5	4	4	3	5	4	5	3	5	3	3
16	5	5	5	2	3	4	4	3	5	5	5	2	4	2	2
17	4	4	3	4	4	4	2	3	4	3	4	3	4	3	2
18	4	4	5	5	5	5	4	5	4	4	4	3	3	2	3
19	5	4	3	4	4	5	5	5	4	3	5	5	4	5	5
20	4	5	6	6	4	5	5	3	5	4	5	3	5	2	6
21	4	4	2	3	5	3	6	3	4	2	5	3	1	4	3
22	2	6	1	4	3	3	4	1	4	4	4	3	4	2	4
23	4	5	3	2	4	5	5	2	2	3	6	2	3	5	4
24	3	5	2	5	2	2	4	4	3	4	6	1	2	3	5
25	3	6	1	3	4	4	4	2	5	3	5	1	1	4	6
26	5	4	3	4	3	4	5	2	3	5	5	3	2	3	4
27	4	5	2	3	5	3	5	3	4	3	4	2	2	4	4
28	2	5	2	4	4	5	6	3	3	4	6	1	1	2	2
29	3	6	4	2	3	4	5	1	3	4	5	3	4	5	3
30	4	4	3	5	2	3	4	3	5	3	4	2	2	6	4
JUMLAH	115	131	103	110	116	116	130	88	116	115	136	79	91	87	92
RATA RATA	3,83	4,37	3,43	3,67	3,87	3,87	4,33	2,93	3,87	3,83	4,53	2,63	3,03	2,90	3,07

Lampiran 9. Verifikasi Formulasi Optimal Kadar Protein

Tabel 40. Data Perhitungan Formulasi Optimal Analisis Kadar Protein (%)

Formulasi		W sampel (g)	Volume Titrasi (mL)	Kadar Protein (%)	Rata-Rata Kadar Protein (%)
Optimal	1	2,017	24,20	8,87	8,68
	2	2,008	24,30	8,48	

Rumus:

$$\% \text{Nitrogen} = \frac{(Vb - Vt) \times N \text{ NaOH} \times BE \text{ N} \times FP}{\text{Bobot sampel [g]} \times 1000} \times 100$$

$$\text{Protein (\%)} = \% \text{Nitrogen} \times \text{FK}$$

Tabel 41. Perhitungan Kadar Protein Formulasi Optimal

1	2
W sampel = 2,017 gram	W sampel = 2,008 gram
Vb = 26,30 mL	Vb = 26,30 mL
Vt = 24,20 mL	Vt = 24,30 mL
N NaOH = 0,0973 N	N NaOH = 0,0973 N
BE N = 14,008 g/mol	BE N = 14,008 g/mol
FP = $\frac{100}{10}$	FP = $\frac{100}{10}$
FK = 6,25	FK = 6,25
Perhitungan:	Perhitungan:
$\% \text{Nitrogen} = \frac{(26,30 - 24,20) \times 0,0973 \times 14,008 \times \frac{100}{10}}{2,017 \times 1000} \times 100$ $= 1,42\%$	$\% \text{Nitrogen} = \frac{(26,30 - 24,30) \times 0,0973 \times 14,008 \times \frac{100}{10}}{2,008 \times 1000} \times 100$ $= 1,36\%$
$\text{Protein (\%)} = 1,42\% \times 6,25$ $= 8,87\%$	$\text{Protein (\%)} = 1,36\% \times 6,25$ $= 8,48\%$
Rata-rata: 8,68%	

Lampiran 10. Verifikasi Formulasi Optimal Viskositas

Tabel 42. Data Perhitungan Formulasi Optimal Analisis Viskositas (cP)

Formulasi		Viskositas (cP)	Rata-Rata Viskositas (cP)
Optimal	1	365	364
	2	363	

Lampiran 11. Verifikasi Formulasi Optimal Stabilitas Fisik

Tabel 43. Data Perhitungan Formulasi Optimal Analisis Stabilitas Fisik (%)

Formulasi		Volume Sampel (mL)	Volume Sedimentasi (mL)	Stabilitas Fisik (%)	Rata-Rata Stabilitas Fisik (%)
Optimal	1	30	7,1	76,33	75,67
	2	30	7,5	75,00	

Rumus:

$$\text{Stabilitas (\%)} = \frac{V - V_s}{V} \times 100$$

Tabel 44. Perhitungan Stabilitas Fisik Formulasi Optimal

1	2
V sampel = 30 mL V sedimentasi = 7,1 mL Perhitungan: $\text{Stabilitas (\%)} = \frac{30 - 7,1}{30} \times 100$ $= 76,33\%$	V sampel = 30 mL V sedimentasi = 7,5 mL Perhitungan: $\text{Stabilitas (\%)} = \frac{30 - 7,5}{30} \times 100$ $= 75,00\%$
Rata-rata: 75,67%	

Lampiran 12. Verifikasi Formulasi Optimal Respon Organoleptik

Tabel 45. Data Hasil Respon Organoleptik Formulasi Optimal

Panelis	ATRIBUT		
	Warna	Aroma	Rasa
1	4	4	6
2	5	5	6
3	6	4	6
4	5	4	5
5	6	4	5
6	6	5	5
7	5	4	5
8	5	5	6
9	4	4	5
10	6	3	4
11	5	3	5
12	5	4	6
13	5	4	5
14	5	5	5
15	4	4	4
16	6	4	5
17	5	3	4
18	5	5	5
19	4	4	4
20	5	4	4
21	6	5	5
22	5	3	4
23	5	4	5
24	5	4	4
25	4	5	5
26	5	4	4
27	4	3	3
28	6	4	4
29	4	4	5
30	5	3	4
JUMLAH	150	121	143
RATA-RATA	5,00	4,03	4,77

Lampiran 13. Formulasi Minuman Edamame

Run	Sari Edamame		CMC		Lesitin		Gula		Garam	
	%	mL	%	gram	%	gram	%	gram	%	gram
1	70	420	0,2	1,2	2	12	6	36	0,1	0,6
2	70	420	0,3	1,8	1	6	6	36	0,1	0,6
3	75	450	0,25	1,5	2	12	6	36	0,1	0,6
4	65	390	0,2	1,2	1,5	9	6	36	0,1	0,6
5	65	390	0,3	1,8	1,5	9	6	36	0,1	0,6
6	70	420	0,25	1,5	1,5	9	6	36	0,1	0,6
7	70	420	0,2	1,2	1	6	6	36	0,1	0,6
8	70	420	0,3	1,8	2	12	6	36	0,1	0,6
9	75	450	0,2	1,2	1,5	9	6	36	0,1	0,6
10	70	420	0,25	1,5	1,5	9	6	36	0,1	0,6
11	75	450	0,25	1,5	1	6	6	36	0,1	0,6
12	75	450	0,3	1,8	1,5	9	6	36	0,1	0,6
13	65	390	0,25	1,5	2	12	6	36	0,1	0,6
14	70	420	0,25	1,5	1,5	9	6	36	0,1	0,6
15	65	390	0,25	1,5	1	6	6	36	0,1	0,6

Lampiran 14. Kebutuhan Bahan Penelitian dan Rancangan Anggaran Biaya Penelitian

Tabel 46. Kebutuhan Bahan Baku

No	Nama Bahan	Harga	Keterangan	Jumlah	Total
1	Edamame	Rp30.000	Kg	5	Rp150.000
2	CMC	Rp12.000	Gram	31,5	Rp12.000
3	Lesitin	Rp25.000	Gram	135	Rp25.000
4	Gula	Rp12.000	Kg	630	Rp12.000
5	Garam	Rp3.500	Gram	9	Rp3.500
Total					Rp202.500

Tabel 47. Rancangan Biaya Penelitian

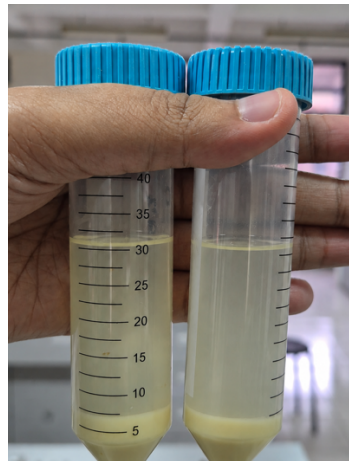
No	Analisis	Jumlah Sampel	Ulangan	Harga	Jumlah
1	Uji Kadar Protein	15	2	Rp55.000	Rp825.000
2	Uji Viskositas	15	2	Rp15.000	Rp450.000
3	Uji Stabilitas Fisik	15	2	Rp5.000	Rp150.000
4	Uji Kadar Lemak	1	1	Rp35.000	Rp35.000
Total					Rp2.535.000

Lampiran 15. Dokumentasi Pembuatan Produk

Proses Pembuatan Minuman Edamame	
Sortasi	
	
<i>Blanching</i>	Penirisan
	

<i>Bleding</i>	Penyaringan
	
Pencampuran	Pasteurisasi
	
Produk	
	

Lampiran 16. Dokumentasi Analisis**Analisis Kadar Protein****Analisis Viskositas**

Analisis Stabilitas Fisik**Respon Organoleptik**

Analisis Kadar Lemak