

OPTIMASI FORMULASI MI UDON MENGGUNAKAN PROGRAM *DESIGN EXPERT* METODE *MIXTURE D-OPTIMAL*

Mestika Nur Faidah*),
Dr. Yellianty,S.Si.,M.Si **)

⁽¹⁾Mahasiswa Magister Teknologi Pangan, Universitas Pasundan, Jl. Sumatra No 41, Bandung, 40117, Indonesia

⁽²⁾Pascasarjana Teknologi Pangan, Universitas Pasundan, Jl. Sumatra No 41, Bandung, 40117, Indonesia

⁽³⁾Pusat Riset Teknologi Tepat Guna, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jl. K.S Tubun No.5, Subang 41213, Indonesia

Email : mestika.nurfaidah102@gmail.com

ABSTRAK

Pengembangan mi udon memerlukan formulasi bahan yang tepat untuk menghasilkan tekstur yang kenyal dan elastis, mutu produk yang konsisten, serta efisiensi penggunaan bahan tambahan pangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan formulasi mi udon di Pabrik Armaster Mi menggunakan program Design Expert dengan metode Mixture D-Optimal. Komponen formulasi yang dikaji meliputi titanium dioxide, natrium bikarbonat, STPP, natrium karbonat, dan CMC. Respon yang dianalisis mencakup kadar air, kadar protein, daya serap air, waktu perebusan, daya mengembang, tekstur instrumental, warna instrumental, serta uji sensori warna dan tekstur.

Hasil optimasi menghasilkan formula terpilih dengan nilai desirability sekitar 0,58, yang menunjukkan kemampuan formulasi dalam memenuhi target multi-respon secara simultan. Hasil verifikasi menunjukkan bahwa formula optimal menghasilkan kadar air 30,53%, kadar protein 9,36%, daya serap air 70,59%, waktu perebusan 12 menit, dan daya mengembang 8,16, dengan seluruh respon berada dalam 95% tolerance interval. Karakteristik tekstur menunjukkan nilai hardness 1046, springiness 1,003, dan cohesiveness 0,339, sedangkan warna instrumental menunjukkan nilai L 69,37*, a 0,44*, dan b 29,80*. Nilai sensori warna dan tekstur masing-masing sebesar 4, yang menunjukkan tingkat penerimaan produk yang baik.

Penelitian ini membuktikan bahwa metode Mixture D-Optimal efektif dalam menentukan formulasi optimal mi udon serta meningkatkan efisiensi formulasi melalui minimalisasi penggunaan bahan tambahan yang tidak memberikan kontribusi signifikan terhadap mutu produk.

Kata Kunci : mi udon; *Mixture D-Optimal*; optimasi formulasi; karakteristik tekstur; bahan tambahan pangan

ABSTRACT

The development of udon noodles requires precise formulation to achieve a chewy and elastic texture, consistent product quality, and efficient use of food additives. This study aimed to optimize udon noodle formulation at Armaster Mi Factory using Design Expert software with the Mixture D-Optimal method. The formulation components evaluated included titanium dioxide, sodium bicarbonate, STPP, sodium carbonate, and CMC. The responses analyzed comprised moisture content, protein content, water absorption, cooking time, swelling power, instrumental texture, instrumental color, and sensory evaluation of color and texture.

The optimization process resulted in an optimal formulation with a desirability value of approximately 0.58, indicating balanced fulfillment of multiple response targets. Verification results showed that the optimal formulation produced 30.53% moisture content, 9.36% protein content, 70.59% water absorption, 12 minutes cooking time, and 8.16 swelling power, with all responses falling within the 95% tolerance interval. Texture characteristics showed hardness of 1046, springiness of 1.003, and cohesiveness of 0.339, while instrumental color values were L 69.37, a 0.44*, and b 29.80*. Sensory scores for color and texture were both 4, indicating good product acceptability.*

These findings demonstrate that the Mixture D-Optimal method is effective for determining optimal udon noodle formulation and improving formulation efficiency by minimizing the use of food additives that do not significantly contribute to product quality.

Keywords : udon noodles; *Mixture D-Optimal*; formulation optimization; texture characteristics; food additive efficiency

ABSTRAK (SUNDA)

Ngahasilkeun mi udon anu miboga tékstur kenyal, élastis, sarta mutu anu ajeg merlukeun formulasi bahan anu dirancang sacara taliti, kaasup dina pamakéan bahan tambahan pangan. Panalungtikan ieu dilaksanakeun

pikeun nangtukeun formulasi optimal mi udon di Pabrik Armaster Mi ngaliwatan pendekatan ilmiah ngagunakeun program Design Expert kalayan métode Mixture D-Optimal. Komponén campuran anu digunakeun di antarana titanium dioxide, natrium bikarbonat, STPP, natrium karbonat, jeung CMC. Réspon anu diamati ngawengku sipat kimia, fisik, tékstur instrumental, warna instrumental, sarta uji sensori warna jeung tékstur.

Hasil optimasi nunjukkeun yén formula optimal miboga nilai desirability sakitar 0,58, anu ngagambarkeun kasaimbangan antar réspon anu diuji. Hasil verifikasi ékspérimén nunjukkeun kadar cai 30,53%, kadar protéin 9,36%, daya nyerep cai 70,59%, waktos ngagolakkeun 12 menit, sarta daya ngembang 8,16, kalayan sakabéh réspon masih aya dina 95% tolerance interval. Karakteristik tékstur nunjukkeun sipat mi udon anu kenyal jeung élastis, sedengkeun hasil uji warna jeung sensori nunjukkeun tingkat panarimaan anu hadé.

Ku kituna, métode Mixture D-Optimal tiasa dijadikeun pendekatan anu efektif pikeun nangtukeun formulasi optimal mi udon sarta ningkatkeun éfisiensi pamakéan bahan tambahan pangan dina prosés produksi.

Kecap Konci : mi udon; *Mixture D-Optimal*; optimasi formulasi; tékstur mi; bahan tambahan pangan

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Mi merupakan salah satu produk pangan olahan yang telah menjadi bagian penting dalam pola konsumsi masyarakat Indonesia. Seiring dengan meningkatnya permintaan akan variasi mi dengan kualitas dan tekstur yang unik, jenis mi impor seperti udon semakin digemari, terutama karena pengaruh budaya kuliner Jepang yang kuat dan berkembangnya industri makanan siap saji. Mi udon dikenal dengan karakteristik bentuknya yang tebal, tekstur kenyal, permukaan licin, serta sensasi elastis saat dikunyah. Karakteristik ini menjadikannya berbeda dari mi kuning atau mi telur yang umum diproduksi di Indonesia, sehingga membutuhkan formulasi dan proses pengolahan yang lebih spesifik.

Pabrik Armaster Mi, sebagai salah satu pelaku industri Mi Udon yang berorientasi pada produksi skala menengah hingga besar, saat ini tengah mengembangkan lini produksi mi udon sebagai bagian dari strategi diversifikasi produk. Pengembangan ini bertujuan untuk menciptakan produk mi udon berkualitas tinggi yang dapat diproses secara efisien menggunakan mesin-mesin custom yang telah tersedia di fasilitas produksi pabrik, seperti mixer industri, mesin pengepres adonan bertekanan tinggi dan mesin pemotong mi. Namun, keberhasilan produksi mi udon tidak hanya bergantung pada mesin, tetapi juga sangat ditentukan oleh formulasi bahan baku yang digunakan.

Formulasi yang digunakan oleh Pabrik Armaster Mi saat ini terdiri dari kombinasi bahan-bahan fungsional seperti tepung terigu protein sedang, tepung tapioka, air dengan pH sekitar 8,5, serta bahan tambahan lain seperti garam, natrium bikarbonat, STPP (Sodium Triphosphate), natrium karbonat, pewarna putih (Titanium Dioxide), CMC (Carboxy Methyl Cellulose), natrium benzoat, dan potasium sorbat. Masing-masing bahan memiliki peran penting dalam

membentuk tekstur, warna, elastisitas, dan daya tahan produk terhadap pemasakan serta penyimpanan. Namun, sejauh ini, formulasi tersebut belum dioptimalkan secara ilmiah untuk mencapai karakteristik fisik yang diinginkan pada mi udon dan kesesuaian

dengan mesin industri yang digunakan.

Untuk itu, diperlukan pendekatan ilmiah yang dapat mengoptimalkan kombinasi formulasi bahan tersebut. Salah satu metode yang relevan dan telah terbukti efektif dalam pengembangan produk campuran adalah Design of Experiments (DoE), khususnya metode Mixture Design. Dalam penelitian formulasi, metode Mixture D-Optimal sangat sesuai karena dirancang untuk menangani sistem campuran di mana seluruh komponen saling melengkapi dan jumlah totalnya tetap 100%. Metode ini memungkinkan eksplorasi interaksi antar bahan, pemodelan matematis hubungan antar variabel, serta perhitungan titik formulasi optimal dengan jumlah eksperimen yang efisien.

Studi terdahulu menunjukkan efektivitas metode ini dalam formulasi produk mi. Penelitian oleh Setyawan et al. (2025) menggunakan metode D-Optimal dalam pengembangan Mi Udon berbahan spirulina, yang berhasil meningkatkan mutu tekstur dan karakteristik visual produk. Penelitian lain oleh Maligan et al. (2019) juga menerapkan metode serupa pada pengembangan mi jagung fermentasi, dan berhasil memperoleh formulasi yang dapat diterima secara sensori oleh konsumen. Penggunaan software Design Expert dalam kedua studi tersebut mempermudah analisis data, visualisasi respon melalui peta kontur, serta penentuan titik formulasi optimal berdasarkan beberapa kriteria mutu.

Dengan mengacu pada formulasi dan peralatan yang digunakan di Pabrik Armaster Mi, maka penerapan metode Mixture D-Optimal melalui program Design Expert diharapkan dapat menghasilkan formulasi mi udon yang optimal, baik dari segi tekstur, elastisitas, warna, maupun kompatibilitas dengan sistem produksi. Optimasi ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi proses produksi, menjaga konsistensi mutu produk, serta memperkuat posisi industri lokal dalam menghadapi pasar mi premium yang semakin kompetitif.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian dalam latar belakang penelitian tersebut, maka masalah yang dapat diidentifikasi yaitu apakah program Design Expert dengan metode Mixture D-Optimal dapat digunakan untuk menentukan formulasi terbaik dalam pembuatan mi udon di Pabrik Armaster Mi, sehingga

menghasilkan produk dengan kualitas tekstur yang sesuai standar, serta mampu meminimalisir penggunaan bahan tambahan yang tidak diperlukan.

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Berdasarkan identifikasi masalah diatas, maksud dari penelitian ini yaitu, untuk mendukung pengembangan produk mi udon di Pabrik Armaster Mi melalui pendekatan ilmiah yang sistematis dalam menentukan formulasi bahan baku yang optimal. Sedangkan tujuan dari penelitian ini adalah untuk menerapkan metode Mixture D-Optimal menggunakan program Design Expert dalam mengoptimalkan komposisi bahan mi udon , sehingga diperoleh formulasi yang menghasilkan produk dengan tekstur dan mutu yang sesuai standar serta efisien dari segi penggunaan bahan tambahan

1.4 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian akan dilaksanakan yaitu pabrik Armaster Mi di Jl. Belakang Ps. No.24, RT./RW./RW.010/015, Sadang Serang, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat 40133 dan Laboratorium Penelitian Teknologi Pangan, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan, Jl. Dr. Setiabudhi No. 193 Bandung serta tempat-tempat yang mendukung penelitian. Adapun waktu penelitian dilakukan pada bulan Desember sampai bulan Agustus 2025.

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam pembuatan mi udon meliputi tepung terigu protein sedang , tepung tapioka, carboxymethyl cellulose (CMC) 2000 cps, natrium karbonat, natrium bikarbonat, STPP, pewarna putih (titanium dioxide), air dengan pH sekitar 8,5, natrium benzoat, dan potasium sorbat.

Bahan yang digunakan untuk analisis dalam penelitian yaitu garam kjedahl, H₂SO₄ pekat, aquades, NaOH, granula Zn, HCl 0,1 N, fenolftalein, NaOH 0,1 N, kertas saring, CHCl₃ dan alcohol yang didapatkan dari Laboratorium Penelitian Universitas Pasundan

2.2 Alat

Alat yang akan digunakan dalam pembuatan Mi Udon yaitu horizontal mixer, single sheeter, double press, stretcher and starch pouring, cutting slitter, pisau ukuran 4 mm dengan ketebalan 10 mm, timbangan digital dari pabrik Armister Mie.

Alat yang digunakan untuk analisis dalam penelitian yaitu chroma meter, texture analyzer, cawan, oven, tangkrus, desikator, timbangan digital, mortar, alu, labu kjedahl, klem dan statif, ruang aam, labu takar, batu didih, pipet berukuran, pipet filler labu destilasi dan labu Erlenmeyer dari Laboratorium Penelitian Universitas Pasundan.

2.3 Metode Penelitian

Metode penelitian ini terdiri dari 2 tahap yaitu Penelitian Pendahuluan dan Penelitian Utama. Penelitian pendahuluan bertujuan untuk menentukan batas atas dan batas bawah dari variabel berubah.

Penelitian Utama bertujuan untuk menentukan

formulasi optimal pada pembuatan Mi Udon . Penentuan formulasi akan menggunakan aplikasi Design

Expert versi 13.0 dengan metode mixture D-Optimal. Pada penelitian ini, variabel berubahnya yaitu titanium dioxide, natrium bikarbonat, STPP, natrium karbonat, natrium benzoate, potasium sorbat dan CMC, sedangkan respon yang akan diuji terhadap produk Mi Udon yang dihasilkan yakni kadar air, kadar protein, uji daya serap air, uji waktu rehidrasi, uji daya mengembang, uji tekstur menggunakan texture analyzer berupa kekerasan, kekenyalan, kelengketan dan kerapuhan, uji warna menggunakan chroma meter berupa brightness dan saturasi, serta uji organoleptic menggunakan metode uji mutu hedonic dengan parameter warna dan tekstur

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Penelitian Tahap 1

Penelitian tahap 1 ini bertujuan untuk menentukan batas bawah dan batas atas penggunaan bahan tambahan pangan (BTP) yang menjadi variabel berubah dalam formulasi mi udon. Penentuan batas ini sangat penting untuk meminimalisir penggunaan bahan tambahan yang tidak diperlukan sekaligus memastikan keamanan produk sesuai regulasi Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) serta menjaga kualitas produk mi udon yang dihasilkan oleh Pabrik Armaster Mi.

Variabel berubah yang dianalisis meliputi bahan tambahan pangan yang digunakan dalam formulasi mi udon, yaitu:

- Titanium Dioxide (pewarna putih)
- Natrium Bikarbonat
- Sodium Tripolyphosphate (STPP)
- Natrium Karbonat
- Carboxy Methyl Cellulose (CMC)

Kelima bahan ini dipilih karena perannya yang signifikan dalam membentuk tekstur, warna, elastisitas, dan kestabilan mi udon (Ma et al., 2017; Tuti & Arpah, 2018; Hou, 2010). Selain itu, penggunaan bahan tambahan ini diatur oleh regulasi BPOM yang menetapkan batas maksimum penggunaannya demi keamanan konsumen (BPOM, 2019).

3.1.1. Penentuan Batas Bawah dan Batas Atas

3.1.1.1. Batas Bawah

Batas bawah untuk semua variabel berubah ditetapkan pada angka nol (0%), yang berarti bahan tambahan tersebut dapat diminimalisir hingga tidak digunakan. Hal ini dilakukan untuk menguji pengaruh minimal bahan tambahan terhadap mutu produk dan untuk mendukung efisiensi penggunaan bahan baku tanpa mengorbankan kualitas (Nurhayati, 2016).

3.1.1.2. Batas Atas

Batas atas ditentukan dengan dua pertimbangan utama:

- Formula Produk Mi Udon Existing di Pabrik Armaster Mie

Berdasarkan data formulasi produk existing (Tabel 6 Lampiran 4), batas atas penggunaan bahan tambahan pangan disesuaikan dengan dosis yang saat ini digunakan dalam produksi, yaitu:

- Titanium Dioxide: 1.00%
- Natrium Bikarbonat: 0.30%

- c. STPP: 0.63%
- d. Natrium Karbonat: 0.23%
- e. CMC: 0.30%

2. Regulasi BPOM No.11 Tahun 2019

Regulasi BPOM mengatur batas maksimum penggunaan bahan tambahan pangan untuk memastikan keamanan konsumen. Misalnya, natrium bikarbonat dibatasi maksimal 0,2% dari berat produk akhir (2 g/kg) (BPOM, 2019). Namun, karena formula existing Armaster Mi menggunakan dosis sedikit lebih tinggi (0,3%), batas atas disesuaikan dengan formula tersebut untuk menjaga konsistensi produk yang sudah beredar dan diterima pasar, selama masih dalam batas aman menurut regulasi internasional dan literatur pendukung (Huang, 2020; Codex Alimentarius, 2022).

Tabel 7. Batas Bawah dan Batas Atas Variabel Berubah

No	Bahan Tambahan Pangan	Batas Bawah (%)	Batas Atas (%)
1	Titanium Dioxide	0.00	1.00
2	Natrium Bikarbonat	0.00	0.30
3	Sodium Tripolyphosphate (STPP)	0.00	0.63
4	Natrium Karbonat	0.00	0.23
5	Carboxymethyl Cellulose (CMC)	0.00	0.30

3.1.1.3. Bahan Tambahan Pangan sebagai Variabel Berubah

a. Titanium Dioxide (TiO₂)

Titanium dioksida digunakan sebagai pewarna putih untuk meningkatkan kecerahan visual mi udon tanpa memengaruhi rasa atau tekstur (Weir et al., 2012). Dalam formulasi existing Armaster Mi, dosis TiO₂ adalah 0,03% dengan batas atas yang ditetapkan hingga 1,00%. Penggunaan batas atas ini didasarkan pada formula existing yang sudah diterapkan di pabrik dan masih sesuai dengan regulasi BPOM, meskipun EFSA melarang penggunaannya di Uni Eropa karena potensi risiko partikel nano (EFSA, 2021). Oleh karena itu, penentuan batas bawah 0% memungkinkan pengujian tanpa pewarna, sedangkan batas atas 1% mengakomodasi dosis maksimal yang aman dan sesuai standar di Indonesia (BPOM, 2019). Studi Chen et al. (2020) menunjukkan bahwa penambahan TiO₂ dapat meningkatkan nilai kecerahan (L*) pada mi, sehingga penting untuk menjaga dosis dalam rentang aman untuk kualitas visual produk.

b. Natrium Bikarbonat (NaHCO₃)

Natrium bikarbonat berfungsi sebagai agen pengembang dan pengatur pH yang meningkatkan kelembutan dan volume mi (FAO/WHO, 2020). Formula existing Armaster Mi menggunakan 0,04%, sedangkan batas atas ditetapkan 0,30%, sedikit di atas batas maksimum BPOM sebesar 0,2% (2 g/kg produk akhir) (BPOM, 2019). Penentuan batas ini memperhitungkan kebutuhan tekstur kenyal dan elastis yang khas mi udon, karena natrium bikarbonat terurai menjadi CO₂ yang membentuk rongga udara dalam adonan, meningkatkan volume dan kekenyalan (Huang, 2020). Batas bawah 0% memungkinkan evaluasi efek

natrium bikarbonat tanpa penggunaan bahan ini, sedangkan batas atas menyesuaikan formula existing dan regulasi untuk keamanan dan mutu.

c. Sodium Tripolyphosphate (STPP)

STPP adalah bahan tambahan penting dalam mie basah untuk meningkatkan tekstur, elastisitas, dan daya tahan produk (Widyaningsih & Murtini, 2006). Dalam formula existing, kadar STPP adalah 0,27%, dengan batas atas penelitian ditetapkan 0,63%. Penetapan batas atas ini mengacu pada formula existing yang sudah diterapkan dan literatur yang menunjukkan bahwa STPP meningkatkan daya serap air dan menjaga kelembapan mie selama penyimpanan (Jambura Journal of Food Technology, 2024; Repo Unpas, 2019). Batas bawah 0% memberikan ruang untuk menguji pengaruh tanpa STPP, sedangkan batas atas mempertimbangkan efektivitas bahan dan keamanan sesuai regulasi BPOM.

d. Natrium Karbonat (Na₂CO₃)

Natrium karbonat berperan sebagai pengatur pH yang mempercepat gelatinisasi pati dan memperkuat jaringan gluten, menghasilkan tekstur mi yang elastis dan tahan pemasakan (Chen, 2018; Hou, 2010). Formula existing menggunakan 0,02%, dengan batas atas ditetapkan 0,23%. Regulasi Codex Alimentarius mengizinkan penggunaan karbonat hingga 2 g/kg, sehingga batas atas ini masih aman (Codex Alimentarius, 2022). Penentuan batas bawah 0% memungkinkan pengujian tanpa natrium karbonat, sedangkan batas atas menyesuaikan formula existing dan regulasi untuk kualitas dan keamanan produk.

e. Carboxy Methyl Cellulose (CMC)

CMC berfungsi sebagai hidrokoloid yang meningkatkan daya ikat air, elastisitas, dan stabilitas adonan selama penyimpanan (Damodaran et al., 2017). Dalam formula existing Armaster Mi, kadar CMC adalah 0,07%, dengan batas atas 0,30%, jauh di bawah batas maksimum BPOM sebesar 1% (BPOM, 2019). Penetapan batas bawah 0% memungkinkan evaluasi efek CMC tanpa bahan ini, sedangkan batas atas mempertimbangkan efektivitasnya dalam menjaga mutu tekstur mi dan stabilitas selama penyimpanan (Tuti & Arpah, 2018; Nasruddin et al., 2018).

3.2 Penelitian Tahap 2

Pada penelitian tahap 2, berdasarkan hasil input batas bawah dan batas atas variabel berubah (titanium dioxide, natrium bikarbonat, STPP, natrium karbonat, dan CMC) ke dalam aplikasi Design Expert metode Mixture D-Optimal, dihasilkan sebanyak 19 formula pembuatan Mi Udon. Formula-formula ini merupakan kombinasi proporsi bahan yang dioptimasi secara statistik untuk mendapatkan produk dengan mutu terbaik sesuai parameter yang diukur, seperti kadar air, kadar protein, daya serap air, waktu rehidrasi, daya mengembang, tekstur (kekenyalan, kekerasan, kelengketan, kerapuhan), warna (brightness dan saturasi), serta hasil uji organoleptik warna dan tekstur.

Setiap formula tersebut akan diuji dan dianalisis pada tahap berikutnya untuk menentukan formulasi optimal yang memenuhi standar mutu dan preferensi konsumen, sekaligus efisien dari segi penggunaan bahan tambahan pangan. Pendekatan ini memungkinkan eksplorasi interaksi antar bahan dalam sistem campuran dengan efisiensi waktu dan biaya eksperimen yang lebih baik dibandingkan metode tradisional.

Program Design Expert versi 13.0 melakukan optimasi berdasarkan data variabel (proporsi bahan tambahan pangan) dan data pengukuran respon (parameter mutu produk) yang telah dimasukkan sebelumnya. Setiap formula yang dihasilkan oleh program merupakan kombinasi variabel yang diuji dan dianalisis untuk menemukan solusi terbaik.

Tabel 8. Data Input 19 Formulasi dalam Design Expert 13.0

Formula	Variabel Tetap (%)						Variabel Berubah (%)				
	Air	Tepung	Tapioka	Garam	Natrium Benzoat	Pottasium Sorbat	Titanium Dioxide	Natrium Bikarbonat	STPP	Natrium Karbonat	CMC
1	30.45	54.14	13.53	1.35	0.06	0.03	0.49	0.17	0.34	0.00	0.00
2	30.45	54.14	13.53	1.35	0.06	0.03	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	30.45	54.14	13.53	1.35	0.06	0.03	0.00	0.00	0.47	0.23	0.30
4	30.45	54.14	13.53	1.35	0.06	0.03	0.59	0.30	0.00	0.11	0.00
5	30.45	54.14	13.53	1.35	0.06	0.03	0.77	0.00	0.00	0.23	0.00
6	30.45	54.14	13.53	1.35	0.06	0.03	0.17	0.30	0.00	0.23	0.30
7	30.45	54.14	13.53	1.35	0.06	0.03	0.70	0.00	0.00	0.00	0.30
8	30.45	54.14	13.53	1.35	0.06	0.03	0.07	0.30	0.63	0.00	0.00
9	30.45	54.14	13.53	1.35	0.06	0.03	0.46	0.00	0.24	0.00	0.30
10	30.45	54.14	13.53	1.35	0.06	0.03	0.20	0.30	0.20	0.00	0.30
11	30.45	54.14	13.53	1.35	0.06	0.03	0.29	0.30	0.18	0.23	0.00
12	30.45	54.14	13.53	1.35	0.06	0.03	0.03	0.11	0.63	0.23	0.00
13	30.45	54.14	13.53	1.35	0.06	0.03	0.58	0.30	0.00	0.00	0.12
14	30.45	54.14	13.53	1.35	0.06	0.03	0.48	0.13	0.00	0.23	0.16
15	30.45	54.14	13.53	1.35	0.06	0.03	0.00	0.30	0.42	0.15	0.14
16	30.45	54.14	13.53	1.35	0.06	0.03	0.37	0.00	0.63	0.00	0.00
17	30.45	54.14	13.53	1.35	0.06	0.03	0.00	0.07	0.63	0.00	0.30
18	30.45	54.14	13.53	1.35	0.06	0.03	0.24	0.15	0.36	0.11	0.15
19	30.45	54.14	13.53	1.35	0.06	0.03	0.76	0.00	0.24	0.00	0.00

3.2.2.1. Respon Kimia

3.2.1.1. Kadar Air

Kadar air merupakan parameter kimia yang sangat krusial karena berhubungan langsung dengan stabilitas mikrobiologis, tekstur, serta umur simpan produk pangan. Pada penelitian tahap II ini, kadar air digunakan sebagai respon utama untuk mengevaluasi pengaruh kombinasi bahan tambahan dalam formulasi mie basah mentah menggunakan metode Mixture Design D-Optimal.

Tabel 9. Hasil Uji Respon Kadar Air Mi Udon

Formula	Variabel Berubah (%)					Kadar Air (%)
	Titanium Dioxide	Natrium Bikarbonat	STPP	Natrium Karbonat	CMC	
1	0.49	0.17	0.34	0.00	0.00	31.21
2	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31.60
3	0.00	0.00	0.47	0.23	0.30	32.00
4	0.59	0.30	0.00	0.11	0.00	31.65
5	0.77	0.00	0.00	0.23	0.00	32.80
6	0.17	0.30	0.00	0.23	0.30	32.89
7	0.70	0.00	0.00	0.00	0.30	33.00
8	0.07	0.30	0.63	0.00	0.00	33.28
9	0.46	0.00	0.24	0.00	0.30	33.60
10	0.20	0.30	0.20	0.00	0.30	33.61
11	0.29	0.30	0.18	0.23	0.00	33.46
12	0.03	0.11	0.63	0.23	0.00	33.11
13	0.58	0.30	0.00	0.00	0.12	34.09
14	0.48	0.13	0.00	0.23	0.16	34.04
15	0.00	0.30	0.42	0.15	0.14	33.82
16	0.37	0.00	0.63	0.00	0.00	33.87
17	0.00	0.07	0.63	0.00	0.30	33.95
18	0.24	0.15	0.36	0.11	0.15	33.79

Hasil dari proses optimasi adalah rekomendasi formula baru yang dianggap optimal oleh program berdasarkan nilai desirability. Nilai desirability ini merupakan indikator seberapa baik suatu formula memenuhi kriteria tujuan yang telah ditentukan, dengan rentang nilai antara 0 (tidak memenuhi sama sekali) hingga 1 (memenuhi semua kriteria secara sempurna).

Formula	Variabel Berubah (%)					Kadar Air (%)
	Titanium Dioxide	Natrium Bikarbonat	STPP	Natrium Karbonat	CMC	
19	0.76	0.00	0.24	0.00	0.00	33.98

Berdasarkan hasil pengujian, kadar air produk mie basah mentah berada pada kisaran $\pm 31\text{--}35\%$. Jika dibandingkan dengan standar mutu nasional, hingga saat ini SNI 2987:2015 tentang Mie Basah menyebutkan bahwa kadar air maksimum mie basah adalah 35%. Dengan demikian, kadar air hasil penelitian ini masih berada dalam batas yang diperkenankan menurut SNI. Kondisi ini menunjukkan bahwa formulasi yang dihasilkan masih memenuhi persyaratan mutu dasar dari sisi kadar air.

Kadar air mie basah mentah cenderung lebih tinggi dibandingkan mie kering karena proses pembuatannya tidak melalui tahap pengeringan. Menurut Winarno (2008), air dalam bahan pangan berperan sebagai medium reaksi kimia, memengaruhi tekstur, serta menjadi faktor utama yang menentukan keawetan produk. Air yang terikat dalam matriks pati dan protein berkontribusi terhadap kekenyalan dan elastisitas mie, namun di sisi lain dapat mempercepat kerusakan apabila tidak dikendalikan dengan baik.

Kadar air mie basah mentah yang berada pada kisaran tersebut dipengaruhi oleh sifat bahan penyusun formulasi yang didominasi oleh pati dan hidrokoloid. Pati memiliki kemampuan menyerap dan menahan air melalui pembentukan ikatan hidrogen, sedangkan hidrokoloid seperti CMC berperan dalam meningkatkan water holding capacity sistem. Menurut Belitz et al. (2009), air yang terikat dalam matriks pati-hidrokoloid berkontribusi terhadap plastisitas dan kekenyalan produk berbasis adonan.

Penelitian oleh Haryadi (2014) menyatakan bahwa kadar air mie basah yang berada pada rentang 30–35% masih dianggap optimal karena mampu mempertahankan sifat plastis adonan tanpa menyebabkan tekstur terlalu lunak atau mudah lengket. Oleh karena itu, nilai kadar air yang diperoleh pada penelitian ini dapat dikategorikan sesuai dengan karakteristik mie basah mentah yang diharapkan.

Tabel 1. Ringkasan Hasil Analisis Statistik pada Respon Kadar Air

Parameter Statistik	Nilai	Interpretasi
Mean (%)	33,14	Nilai rata-rata kadar air seluruh formulasi
Standar Deviasi	0,7874	Variasi data relatif kecil
Coefficient of Variation (CV, %)	2,38	Data homogen dan presisi baik (CV < 10%)
R ²	0,8331	Model menjelaskan 83,31% variasi respon
Adjusted R ²	0,2490	Koreksi R ² terhadap jumlah faktor dalam model
Predicted R ²	-	Kemampuan prediksi model terhadap data baru rendah
Adeq Precision	3,4006	Rasio sinyal terhadap noise memadai (>4)
F-value Model	4,0102	Statistik uji kecocokan model
p-value Model	1,43	Model tidak signifikan (p > 0,05)

Berdasarkan Tabel 10, nilai mean kadar air sebesar 33,14% merepresentasikan kondisi umum seluruh formulasi yang diuji, sedangkan nilai standar deviasi (0,7874) dan CV (2,38%) menunjukkan bahwa data kadar air antar formulasi bersifat homogen dan memiliki presisi yang baik. Menurut Montgomery (2017), CV di bawah 10% menandakan bahwa variasi data lebih dipengaruhi oleh perlakuan dibandingkan kesalahan analisis.

Nilai R² sebesar 0,8331 menunjukkan bahwa sebagian besar variasi kadar air dapat dijelaskan oleh model kuadrat. Namun demikian, nilai Adjusted R² (0,2490) dan Predicted R² yang bernilai negatif (-3,4006) mengindikasikan bahwa kemampuan prediktif model terhadap data di luar percobaan masih terbatas.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	12.38	14	0.8843	1.43	0.3960	not significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	1.70	4	0.4238	0.6836	0.6393	
AB	1.65	1	1.65	2.65	0.1787	
AC	0.0589	1	0.0589	0.0950	0.7733	
AD	0.8841	1	0.8841	1.43	0.2984	
AE	6.85	1	6.85	11.06	0.0292	
BC	1.71	1	1.71	2.75	0.1725	
BD	1.51	1	1.51	2.44	0.1932	
BE	2.46	1	2.46	3.96	0.1175	
CD	1.20	1	1.20	1.93	0.2371	
CE	5.73	1	5.73	9.24	0.0384	
DE	0.0076	1	0.0076	0.0122	0.9174	
Residual	2.48	4	0.6200			
Cor Total	14.86	18				

Gambar 7. Anova Respon Kadar Air
Hasil analisis ANOVA menunjukkan nilai F model

sebesar 1,43 dengan p-value 0,3960 (p > 0,05), yang menunjukkan bahwa model belum signifikan secara statistik. Kondisi tersebut umum dijumpai pada desain campuran (mixture design) karena adanya keterikatan proporsi antar komponen yang menyebabkan korelasi tinggi dan menurunkan sensitivitas uji statistik (Cornell, 2011).

Meskipun model belum signifikan, nilai Adeq Precision sebesar 4,0102 menandakan bahwa rasio sinyal terhadap noise berada pada tingkat yang dapat diterima. Oleh karena itu, model masih layak digunakan untuk tujuan eksplorasi kecenderungan respon dan optimasi formulasi dalam ruang desain yang ditetapkan.

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-Titanium Dioxide	31.90	1	0.6991	29.96	33.84	3.46
B-Natrium Bikarbonat	57.15	1	16.56	11.18	103.12	315.00
C-STPP	35.18	1	2.05	29.50	40.87	16.26
D-Natrium Karbonat	84.11	1	39.18	-24.68	192.90	898.28
E-CMC	-26.62	1	19.07	-79.58	26.33	364.73
AB	-38.33	1	23.53	-103.66	27.00	78.70
AC	1.41	1	4.58	-11.31	14.14	4.78
AD	-61.41	1	51.43	-204.21	81.38	231.59
AE	89.11	1	26.80	14.70	163.52	94.32
BC	-41.61	1	25.09	-111.27	28.04	71.29
BD	-88.46	1	56.62	-245.65	68.73	73.55
BE	57.99	1	29.14	-22.92	138.90	28.08
CD	-70.18	1	50.52	-210.46	70.09	163.38
CE	85.86	1	28.25	7.43	164.29	90.67
DE	-5.21	1	47.18	-136.21	125.79	41.71

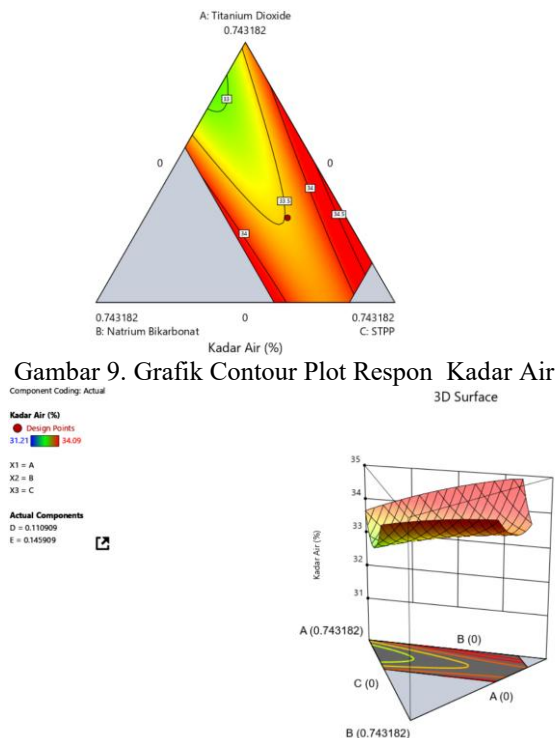
Gambar 8. Coefficients in Terms of Coded Factors Respon Kadar Air

Berdasarkan hasil ANOVA parsial, interaksi antara beberapa komponen menunjukkan pengaruh nyata terhadap kadar air, khususnya interaksi interaksi antara CMC dengan STPP (C×E) dan CMC dengan titanium dioxide (A×E) bersifat signifikan (p < 0,05).

Interaksi antara STPP dan CMC menunjukkan kecenderungan peningkatan kadar air seiring dengan meningkatnya proporsi kedua komponen tersebut. Secara fungsional, STPP berperan dalam meningkatkan hidrasi pati dan protein melalui mekanisme peningkatan muatan ionik dan kemampuan mengikat air, sedangkan CMC berfungsi sebagai hidrokoloid yang mampu menahan air di dalam matriks adonan. Kombinasi kedua bahan ini menyebabkan retensi air yang lebih stabil dalam sistem mie basah mentah.

Sementara itu, interaksi antara titanium dioxide dan CMC juga menunjukkan signifikansi secara statistik. Namun, titanium dioxide dalam formulasi ini berfungsi utama sebagai agen pemutih (whitening agent) dan opasifier, bukan sebagai bahan pengikat air. Oleh karena itu, pengaruh titanium dioxide terhadap kadar air diduga bersifat tidak langsung, kemungkinan melalui perubahan struktur mikro matriks adonan atau distribusi fase padat yang kemudian dimodulasi oleh keberadaan CMC.

Hasil ini sejalan dengan penelitian Glicksman (1983) yang menyatakan bahwa hidrokoloid seperti CMC mampu mengikat air bebas dan air terikat, sehingga meningkatkan kadar air dan viskositas sistem pangan. Selain itu, STPP berperan dalam meningkatkan kemampuan protein dan pati dalam mengikat air melalui mekanisme protein unfolding dan peningkatan muatan ionik (Belitz et al., 2009).



Gambar 10. Grafik 3D Surface Plot Respon Kadar Air

Berdasarkan grafik contour plot pada gambar 9. terlihat bahwa daerah dengan proporsi STPP dan CMC yang lebih tinggi menghasilkan kadar air yang lebih besar. Zona optimum kadar air berada pada daerah tengah komposisi, yang menunjukkan adanya keseimbangan antara bahan pengikat air dan bahan pengisi.

Visualisasi ini menunjukkan bahwa perubahan kecil pada proporsi komponen tertentu dapat menyebabkan perubahan kadar air yang cukup signifikan. Hal ini menegaskan pentingnya optimasi formulasi untuk memperoleh kadar air yang sesuai dengan karakteristik mie basah mentah yang diinginkan.

Kadar air yang terlalu tinggi dapat meningkatkan risiko pertumbuhan mikroorganisme serta memperpendek umur simpan produk, sedangkan kadar air yang terlalu rendah dapat menyebabkan tekstur mie menjadi rapuh dan kurang elastis. Menurut Fellows (2017), pengendalian kadar air merupakan strategi utama dalam menjaga keseimbangan antara keamanan pangan dan mutu sensori produk.

3.2.2.2. Kadar Protein

Berdasarkan hasil analisis laboratorium pada penelitian tahap II, kadar protein mie basah mentah berada pada rentang 4,99–8,98% dengan nilai rata-rata (mean) sebesar 6,85%. Rentang nilai ini menunjukkan bahwa kandungan protein produk mie basah mentah yang dihasilkan masih berada pada kisaran menengah hingga rendah apabila dibandingkan dengan standar mutu yang berlaku.

Tabel 2. Hasil Uji Respon Kadar Protein Mi Udon.

Formula	Variabel Berubah (%)					Kadar Protein (%)
	Titanium Dioxide	Natrium Bikarbonat	STPP	Natrium Karbonat	CMC	
1	0.49	0.17	0.34	0.00	0.00	8.98
2	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.7
3	0.00	0.00	0.47	0.23	0.30	7.64
4	0.59	0.30	0.00	0.11	0.00	8.35
5	0.77	0.00	0.00	0.23	0.00	8.6
6	0.17	0.30	0.00	0.23	0.30	8.03
7	0.70	0.00	0.00	0.00	0.30	7.6
8	0.07	0.30	0.63	0.00	0.00	7.28
9	0.46	0.00	0.24	0.00	0.30	7.04
10	0.20	0.30	0.20	0.00	0.30	6.35
11	0.29	0.30	0.18	0.23	0.00	6.65
12	0.03	0.11	0.63	0.23	0.00	6.96
13	0.58	0.30	0.00	0.00	0.12	5.04
14	0.48	0.13	0.00	0.23	0.16	5.69
15	0.00	0.30	0.42	0.15	0.14	5.28
16	0.37	0.00	0.63	0.00	0.00	5.99
17	0.00	0.07	0.63	0.00	0.30	5.62
18	0.24	0.15	0.36	0.11	0.15	5.27
19	0.76	0.00	0.24	0.00	0.00	4.99

Menurut SNI 2987:2015 tentang Mie Basah Mentah, kadar protein minimum yang dipersyaratkan adalah 9,0%. Dengan demikian, baik nilai rata-rata maupun sebagian besar nilai individual kadar protein hasil penelitian ini masih berada di bawah batas minimum SNI. Meskipun nilai maksimum yang diperoleh (8,98%) berada sangat dekat dengan batas standar, nilai tersebut tetap belum memenuhi ketentuan SNI.

Kondisi ini menunjukkan bahwa secara mutu kimia berdasarkan parameter protein, formulasi mie basah mentah pada penelitian tahap II belum memenuhi standar nasional. Hal ini sekaligus menegaskan bahwa protein merupakan parameter kritis yang masih perlu ditingkatkan melalui perbaikan formulasi, terutama pada komponen bahan baku utama yang berkontribusi langsung terhadap kandungan protein, seperti jenis dan mutu tepung yang digunakan.

Tabel 3. Ringkasan Hasil Analisis Statistik Respon Kadar Protein

Parameter Statistik	Nilai	Interpretasi
Mean (%)	6,68	Nilai rata-rata kadar protein
Standar Deviasi	1,28	Menunjukkan sebaran data cukup besar
CV (%)	18,76	Variasi data tinggi (>10)
R ²	0,7917	Model menjelaskan 79,17% variasi respon
Adjusted R ²	0,0626	Kecocokan model setelah koreksi rendah
Predicted R ²	-3,6304	Kemampuan prediksi model sangat rendah
Adeq Precision	3,4663	Rasio sinyal terhadap noise tidak memadai (< 4)
F-value Model	1,09	Statistik uji model
p-value Model	0,5208	Model tidak signifikan (p > 0,05)

Nilai CV sebesar 18,76% menunjukkan bahwa respon kadar protein memiliki tingkat keragaman yang tinggi antar formulasi. Tingginya variasi ini mengindikasikan bahwa kadar protein sangat sensitif terhadap perubahan komposisi formulasi dan interaksi antar komponen dalam sistem adonan mie basah mentah.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	25.07	14	1.79	1.09	0.5208	not significant
⁽⁴⁾ Linear Mixture	4.43	4	1.11	0.6711	0.6457	
AB	1.78	1	1.78	1.08	0.3576	
AC	0.4390	1	0.4390	0.2662	0.6331	
AD	1.13	1	1.13	0.6879	0.4535	
AE	16.41	1	16.41	9.95	0.0344	
BC	2.16	1	2.16	1.31	0.3164	
BD	1.59	1	1.59	0.9661	0.3813	
BE	8.36	1	8.36	5.07	0.0875	
CD	1.15	1	1.15	0.6984	0.4503	
CE	15.86	1	15.86	9.61	0.0362	
DE	0.4646	1	0.4646	0.2817	0.6237	
Residual	6.60	4	1.65			
Cor Total	31.67	18				

Gambar 1. Anova Respon Kadar Protein

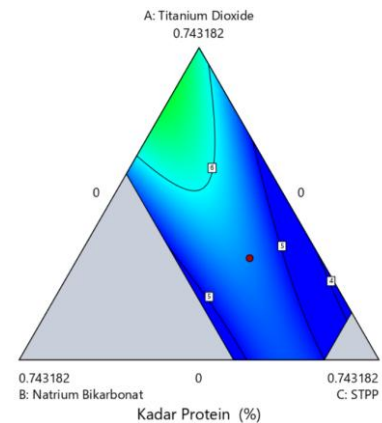
Berdasarkan hasil *fit summary*, model kuadratik dipilih sebagai model terbaik dibandingkan model linear. Namun demikian, hasil ANOVA menunjukkan bahwa model tersebut tidak signifikan secara statistik dengan nilai p-value sebesar 0,5208. Hal ini mengindikasikan bahwa variasi kadar protein yang terjadi tidak dapat dijelaskan secara kuat oleh model matematis yang dibangun.

Nilai R^2 sebesar 0,7917 menunjukkan bahwa model secara matematis masih mampu menggambarkan kecenderungan variasi data, tetapi nilai Adjusted R^2 yang rendah (0,0626) serta Predicted R^2 yang bernilai negatif (-3,6304) menegaskan bahwa model memiliki kestabilan yang rendah dan tidak layak digunakan untuk tujuan prediktif. Kondisi ini umum dijumpai pada respon kimia yang dipengaruhi oleh banyak faktor kompleks, seperti interaksi protein dengan air, garam, dan hidrokoloid.

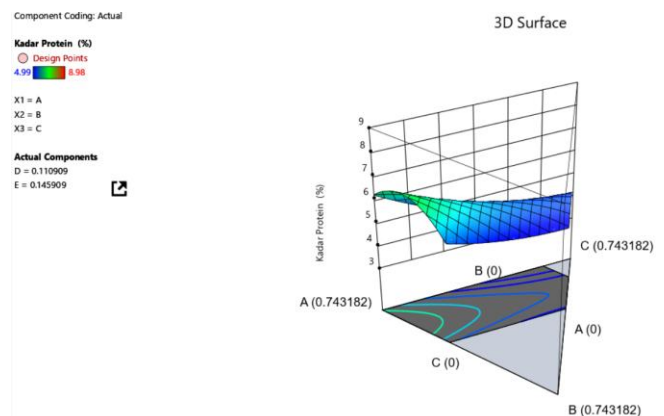
Selain itu, nilai Adeq Precision sebesar 3,4663 yang berada di bawah batas minimum (4) menunjukkan bahwa rasio sinyal terhadap noise tidak memadai. Oleh karena itu, model kuadratik respon kadar protein pada penelitian ini tidak direkomendasikan sebagai dasar optimasi formulasi, melainkan sebagai alat untuk memahami kecenderungan pengaruh formulasi terhadap respon.

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-Titanium Dioxide	8.11	1	1.14	4.95	11.28	3.46
B-Natrium Bikarbonat	-19.09	1	27.00	-94.05	55.88	315.00
C-STPP	5.30	1	3.34	-3.97	14.57	16.26
D-Natrium Karbonat	-45.28	1	63.90	-222.71	132.15	898.28
E-CMC	103.64	1	31.10	17.28	190.00	364.73
AB	39.86	1	38.38	-66.69	146.42	78.70
AC	-3.86	1	7.48	-24.62	16.90	4.78
AD	69.57	1	83.88	-163.31	302.45	231.59
AE	-137.89	1	43.71	-259.25	-16.53	94.32
BC	46.81	1	40.92	-66.79	160.41	71.29
BD	90.76	1	92.33	-165.60	347.12	73.55
BE	-106.99	1	47.53	-238.94	24.96	28.08
CD	68.86	1	82.40	-159.91	297.63	163.38
CE	-142.86	1	46.07	-270.77	-14.94	90.67
DE	-40.84	1	76.95	-254.49	172.81	41.71

Gambar 2. Coefficients in Terms of Coded Factors Respon Kadar Protein



Gambar 3. Grafik Contour Respon Kadar Protein



Gambar 4. Grafik 3D Surface Respon Kadar Protein

Berdasarkan grafik contour respon kadar protein, terlihat bahwa perubahan kadar protein tidak terjadi secara linier terhadap peningkatan satu komponen tunggal, melainkan dipengaruhi oleh kombinasi proporsi antar komponen. Daerah dengan kadar protein relatif lebih tinggi ditunjukkan pada zona contour dengan gradasi warna yang lebih intens, yang umumnya muncul pada kombinasi proporsi CMC yang lebih tinggi dengan proporsi STPP atau titanium dioxide tertentu.

Meskipun model secara keseluruhan tidak signifikan, hasil ANOVA menunjukkan adanya interaksi komponen tertentu yang signifikan terhadap kadar protein, yaitu interaksi antara CMC dengan titanium dioxide ($A \times E$) dan CMC dengan STPP ($C \times E$). Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh CMC terhadap kadar protein sangat bergantung pada keberadaan komponen lain dalam formulasi.

CMC menunjukkan koefisien efek utama yang besar dan positif, yang mengindikasikan bahwa peningkatan proporsi CMC cenderung meningkatkan kadar protein terukur. Secara fisikokimia, CMC berperan dalam meningkatkan viskositas dan kestabilan matriks adonan, sehingga fraksi protein dapat terdistribusi lebih merata dan lebih stabil selama proses analisis.

Sebaliknya, interaksi CMC dengan STPP dan titanium dioxide menunjukkan koefisien negatif terhadap kadar protein terukur. Interaksi ini mengindikasikan adanya efek antagonistik yang diduga berkaitan dengan perubahan lingkungan ionik, hidrasi protein, serta homogenitas sistem adonan. Perubahan tersebut berpotensi memengaruhi metode kuantifikasi protein tanpa merefleksikan perubahan

kandungan protein absolut.

3.2.2. Respon Fisik

3.2.3.1. Daya Serap Air

Berdasarkan hasil analisis pada penelitian tahap II, nilai daya serap air mie basah mentah berada pada kisaran 55,29–76,47% dengan nilai rata-rata (mean) sebesar 66,93%. Rentang nilai ini menunjukkan bahwa mie basah mentah yang dihasilkan memiliki kemampuan menyerap air yang relatif tinggi,

Tabel 13. Hasil Uji Respon Daya Serap Air Mi Udon

Formula	Variabel Berubah (%)					DSA (%)
	Titanium Dioxide	Natrium Bikarbonat	STPP	Titanium Dioxide	Natrium Bikarbonat	
1	0.49	0.17	1	0.49	0.17	1
2	1.00	0.00	2	1.00	0.00	2
3	0.00	0.00	3	0.00	0.00	3
4	0.59	0.30	4	0.59	0.30	4
5	0.77	0.00	5	0.77	0.00	5
6	0.17	0.30	6	0.17	0.30	6
7	0.70	0.00	7	0.70	0.00	7
8	0.07	0.30	8	0.07	0.30	8
9	0.46	0.00	9	0.46	0.00	9
10	0.20	0.30	10	0.20	0.30	10
11	0.29	0.30	11	0.29	0.30	11
12	0.03	0.11	12	0.03	0.11	12
13	0.58	0.30	13	0.58	0.30	13
14	0.48	0.13	14	0.48	0.13	14
15	0.00	0.30	15	0.00	0.30	15
16	0.37	0.00	16	0.37	0.00	16
17	0.00	0.07	17	0.00	0.07	17
18	0.24	0.15	18	0.24	0.15	18
19	0.76	0.00	19	0.76	0.00	19

Daya serap air merupakan parameter fisik yang menggambarkan kemampuan matriks adonan dalam menyerap dan menahan air selama proses hidrasi dan pemasakan. Nilai daya serap air yang cukup tinggi umumnya diharapkan karena berkontribusi terhadap tekstur mie yang lebih lunak dan elastis setelah pemasakan. Namun demikian, nilai daya serap air yang terlalu tinggi dapat menyebabkan struktur mie menjadi terlalu lembek dan menurunkan stabilitas tekstur (Belitz et al., 2009).

Tabel 14. Ringkasan Hasil Analisis Statistik Respon Daya Serap Air

Parameter Statistik	Nilai	Interpretasi
Mean (%)	66,93	Nilai rata-rata daya serap air
Standar Deviasi	5,57	Menunjukkan sebaran data sedang
CV (%)	8,33	Variasi data relatif rendah (<10)
R ²	0,8267	Model menjelaskan sebagian besar variasi respon
Adjusted R ²	0,2200	Kecocokan model setelah koreksi rendah
Predicted R ²	-5,0618	Kemampuan prediksi model sangat rendah
Adeq Precision	4,3831	Rasio sinyal terhadap noise memadai (>4)
F-value Model	1,36	Statistik uji model
p-value Model	0,4161	Model tidak signifikan (>0.05)

Nilai koefisien variasi (CV) sebesar 8,33% menunjukkan bahwa daya serap air antar formulasi relatif homogen. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun terdapat variasi formulasi, perubahan daya serap air yang terjadi masih berada dalam kisaran yang relatif terkendali.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	592.40	14	42.31	1.36	0.4161	not significant
(¹)Linear Mixture	140.93	4	35.23	1.13	0.4528	
AB	1.15	1	1.15	0.0371	0.8567	
AC	0.2021	1	0.2021	0.0065	0.9396	
AD	18.38	1	18.38	0.5919	0.4846	
AE	244.87	1	244.87	7.89	0.0484	
BC	3.37	1	3.37	0.1086	0.7583	
BD	5.94	1	5.94	0.1914	0.6844	
BE	223.24	1	223.24	7.19	0.0552	
CD	28.79	1	28.79	0.9272	0.3901	
CE	197.40	1	197.40	6.36	0.0653	
DE	4.07	1	4.07	0.1312	0.7355	
Residual	124.21	4	31.05			
Cor Total	716.61	18				

Gambar 15. Anova Respon Daya Serap Air

Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa model kuadratik respon daya serap air memiliki nilai p-value sebesar 0,4161, yang berarti bahwa model tidak signifikan secara statistik. Hal ini mengindikasikan bahwa variasi daya serap air yang terjadi tidak dapat dijelaskan secara kuat oleh kombinasi variabel dalam model matematis yang digunakan.

Meskipun demikian, nilai R² sebesar 0,8267 menunjukkan bahwa model masih mampu menggambarkan kecenderungan umum variasi data. Namun, rendahnya nilai Adjusted R² (0,2200) dan nilai Predicted R² yang bernilai negatif (-5,0618) mengindikasikan bahwa model memiliki keterbatasan dalam menjelaskan variasi data aktual dan tidak layak digunakan untuk tujuan prediktif.

Nilai Adeq Precision sebesar 4,3831, yang berada di atas batas minimum 4, menunjukkan bahwa rasio sinyal terhadap noise masih memadai. Oleh karena itu, meskipun model tidak signifikan, model ini masih dapat digunakan untuk mengamati kecenderungan respon daya serap air dalam ruang desain formulasi.

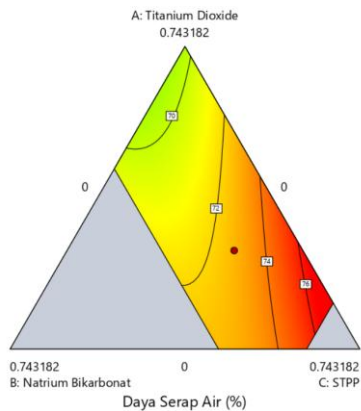
Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-Titanium Dioxide	62.14	1	4.95	48.41	75.88	3.46
B-Natrium Bikarbonat	64.83	1	117.16	-260.47	390.12	315.00
C-STPP	85.97	1	14.48	45.77	126.18	16.26
D-Natrium Karbonat	272.43	1	277.29	-497.46	1042.32	898.28
E-CMC	-297.34	1	134.97	-672.07	77.39	364.73
AB	-32.07	1	166.53	-494.43	430.30	78.70
AC	2.62	1	32.44	-87.46	92.69	4.78
AD	-280.02	1	363.96	-1290.54	730.50	231.59
AE	532.62	1	189.67	6.02	1059.22	94.32
BC	-58.51	1	177.54	-551.44	434.42	71.29
BD	-175.28	1	400.66	-1287.69	937.13	73.55
BE	552.94	1	206.22	-19.63	1125.51	28.08
CD	-344.28	1	357.54	-1336.97	648.41	163.38
CE	504.06	1	199.92	-50.99	1059.12	90.67
DE	120.96	1	333.90	-806.11	1048.03	41.71

Gambar 16. Coefficients in Terms of Coded Factors Respon Daya Serap Air

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa interaksi antara Titanium dioxide dan CMC (A×E) memberikan pengaruh signifikan terhadap daya serap air. Selain itu, interaksi STPP dengan CMC (C×E) serta natrium bikarbonat dengan CMC (B×E) menunjukkan kecenderungan pengaruh terhadap respon daya serap air meskipun tidak signifikan secara statistik.

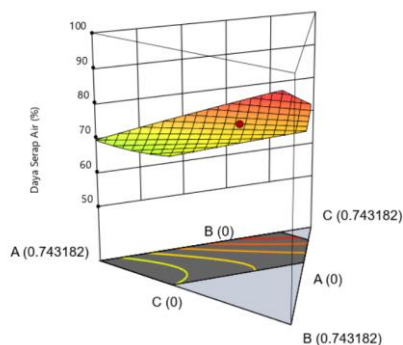
Signifikansi interaksi yang melibatkan CMC menegaskan bahwa komponen ini memiliki peran dominan dalam menentukan daya serap air mie basah mentah. CMC sebagai hidrokoloid memiliki banyak gugus hidrofilik yang

mampu mengikat air dan meningkatkan water holding capacity sistem adonan (Glicksman, 1983). Keberadaan CMC juga memengaruhi distribusi air dalam matriks pati-protein, sehingga berdampak langsung pada nilai daya serap air.



Gambar 17. Grafik Contour Respon Daya Serap Air

Component Coding: Actual
Daya Serap Air (%)
Design Points
55.29 76.47
X1 = A
X2 = B
X3 = C
Actual Components
D = 0.110909
E = 0.145909



Gambar 18. Grafik 3D Surface Respon Daya Serap Air

Berdasarkan grafik contour respon daya serap air, terlihat bahwa daerah dengan nilai daya serap air tertinggi berada pada kombinasi proporsi CMC yang relatif tinggi dengan proporsi STPP atau natrium bikarbonat tertentu. Zona ini ditunjukkan oleh gradasi warna yang lebih intens, yang merepresentasikan nilai daya serap air mendekati nilai maksimum ($\pm 76\%$).

Sebaliknya, pada daerah dengan proporsi CMC yang lebih rendah, daya serap air cenderung menurun meskipun proporsi komponen lain ditingkatkan. Pola nonlinier ini menunjukkan bahwa peningkatan daya serap air tidak ditentukan oleh satu komponen tunggal, melainkan oleh kombinasi proporsi antar komponen. Grafik contour ini mengonfirmasi hasil ANOVA bahwa interaksi antar komponen, khususnya yang melibatkan CMC, lebih berpengaruh terhadap daya serap air dibandingkan efek utama masing-masing bahan.

Secara fisikokimia, fenomena ini berkaitan dengan kemampuan CMC dalam membentuk jaringan hidrofilik yang menahan air, serta interaksinya dengan pati dan protein dalam adonan. Interaksi tersebut memengaruhi jumlah air terikat dan air bebas, yang pada akhirnya menentukan besarnya daya serap air terukur (Belitz et al., 2009; Damodaran et al., 2017).

3.2.3.2. Waktu Perebusan

Berdasarkan hasil pengujian pada penelitian tahap

II, waktu perebusan mie basah mentah berada pada kisaran 11–16 menit, dengan nilai rata-rata (mean) sebesar 13,11 menit. Kisaran waktu perebusan ini menunjukkan bahwa mie basah mentah yang dihasilkan memerlukan waktu pemasakan yang relatif moderat hingga cukup lama untuk mencapai tingkat kematangan yang diinginkan.

Tabel 15. Hasil Uji Respon Waktu Perebusan Air Mi Udon

Formula	Variabel Berubah (%)					Waktu Perebusan (m)
	Titanium Dioxide	Natrium Bikarbonat	STPP	Titanium Dioxide	Natrium Bikarbonat	
1	0.49	0.17	1	0.49	0.17	1
2	1.00	0.00	2	1.00	0.00	2
3	0.00	0.00	3	0.00	0.00	3
4	0.59	0.30	4	0.59	0.30	4
5	0.77	0.00	5	0.77	0.00	5
6	0.17	0.30	6	0.17	0.30	6
7	0.70	0.00	7	0.70	0.00	7
8	0.07	0.30	8	0.07	0.30	8
9	0.46	0.00	9	0.46	0.00	9
10	0.20	0.30	10	0.20	0.30	10
11	0.29	0.30	11	0.29	0.30	11
12	0.03	0.11	12	0.03	0.11	12
13	0.58	0.30	13	0.58	0.30	13
14	0.48	0.13	14	0.48	0.13	14
15	0.00	0.30	15	0.00	0.30	15
16	0.37	0.00	16	0.37	0.00	16
17	0.00	0.07	17	0.00	0.07	17
18	0.24	0.15	18	0.24	0.15	18
19	0.76	0.00	19	0.76	0.00	19

Waktu perebusan merupakan parameter fisik penting karena berkaitan langsung dengan proses gelatinisasi pati, hidrasi protein, serta penetrasi air ke dalam matriks adonan mie. Waktu perebusan yang lebih singkat umumnya diinginkan karena meningkatkan efisiensi proses dan kenyamanan konsumen, namun waktu perebusan yang terlalu singkat dapat menghasilkan mie dengan inti yang belum matang sempurna. Sebaliknya, waktu perebusan yang terlalu lama berpotensi menurunkan mutu tekstur akibat pelunakan berlebih dan kehilangan struktur (Belitz et al., 2009).

Tabel 16. Ringkasan Hasil Analisis Statistik Respon Waktu Perebusan

Parameter Statistik	Nilai	Interpretasi
Mean (menit)	13,11	Nilai rata-rata waktu perebusan
Standar Deviasi	1,08	Variasi data relatif kecil
CV (%)	8,27	Variasi data rendah (<10)
R ²	0,8875	Model menjelaskan 88,75% variasi respon
Adjusted R ²	0,4937	Kecocokan model sedang
Predicted R ²	-3,8635	Kemampuan prediksi model rendah
Adeq Precision	6,1640	Rasio sinyal terhadap noise memadai (>4)
F-value Model	2,25	Statistik uji model
p-value Model	0,2248	Model tidak signifikan (>0,05)

Nilai CV sebesar 8,27% menunjukkan bahwa variasi waktu perebusan antar formulasi relatif rendah, sehingga respon ini tergolong cukup homogen. Hal ini menandakan bahwa perubahan formulasi memengaruhi waktu perebusan, namun pengaruh tersebut masih berada dalam rentang yang terkendali.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	37.09	14	2.65	2.25	0.2248	not significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	7.60	4	1.90	1.62	0.3267	
AB	0.0949	1	0.0949	0.0807	0.7904	
AC	0.0544	1	0.0544	0.0463	0.8402	
AD	1.88	1	1.88	1.60	0.2746	
AE	12.98	1	12.98	11.04	0.0293	
BC	0.1993	1	0.1993	0.1696	0.7016	
BD	0.9124	1	0.9124	0.7762	0.4281	
BE	14.73	1	14.73	12.53	0.0240	
CD	2.77	1	2.77	2.35	0.1997	
CE	10.94	1	10.94	9.31	0.0380	
DE	0.0005	1	0.0005	0.0004	0.9848	
Residual	4.70	4	1.18			
Cor Total	41.79	18				

Gambar 19. Anova Respon Waktu Perebusan

Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa model kuadratik respon waktu perebusan memiliki nilai p-value sebesar 0,2248 ($p > 0,05$), sehingga model dinyatakan tidak signifikan secara statistik. Kondisi ini menunjukkan bahwa variasi waktu perebusan yang terjadi belum dapat dijelaskan secara kuat oleh model matematis secara keseluruhan.

Meskipun demikian, nilai R^2 sebesar 0,8875 menunjukkan bahwa model masih mampu menggambarkan kecenderungan umum variasi data. Rendahnya nilai Predicted R^2 yang bernilai negatif (-3,8635) mengindikasikan bahwa model tidak layak digunakan sebagai model prediktif. Namun, nilai Adeq Precision sebesar 6,1640 (>4) menunjukkan bahwa rasio sinyal terhadap noise masih memadai, sehingga model tetap dapat digunakan untuk mengevaluasi kecenderungan respon dalam ruang desain formulasi (Montgomery, 2017).

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-Titanium Dioxide	14.19	1	0.9626	11.51	16.86	3.46
B-Natrium Bikarbonat	13.83	1	22.80	-49.46	77.12	315.00
C-STPP	8.41	1	2.82	0.5907	16.24	16.26
D-Natrium Karbonat	-55.43	1	53.95	-205.22	94.37	898.28
E-CMC	99.61	1	26.26	26.70	172.52	364.73
AB	9.21	1	32.40	-80.75	99.17	78.70
AC	-1.36	1	6.31	-18.88	16.17	4.78
AD	89.57	1	70.81	-107.04	286.19	231.59
AE	-122.63	1	36.90	-225.09	-20.17	94.32
BC	14.22	1	34.54	-81.68	110.13	71.29
BD	68.68	1	77.95	-147.76	285.12	73.55
BE	-142.06	1	40.12	-253.46	-30.65	28.08
CD	106.75	1	69.57	-86.39	299.90	163.38
CE	-118.65	1	38.90	-226.65	-10.66	90.67
DE	-1.31	1	64.97	-181.69	179.06	41.71

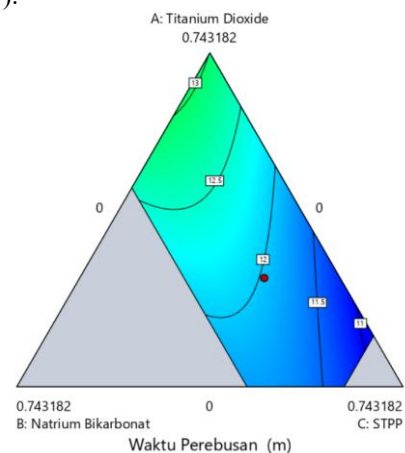
Gambar 20. Coefficients in Terms of Coded Factors Respon Waktu Perebusan

Berdasarkan hasil ANOVA, beberapa interaksi komponen menunjukkan pengaruh signifikan terhadap waktu perebusan, yaitu titanium dioxide $\times$ CMC ($A \times E$), natrium bikarbonat $\times$ CMC ($B \times E$), dan STPP $\times$ CMC ($C \times E$). Signifikansi interaksi yang secara konsisten melibatkan CMC menunjukkan bahwa komponen ini berperan dominan dalam mengendalikan waktu perebusan mie basah mentah.

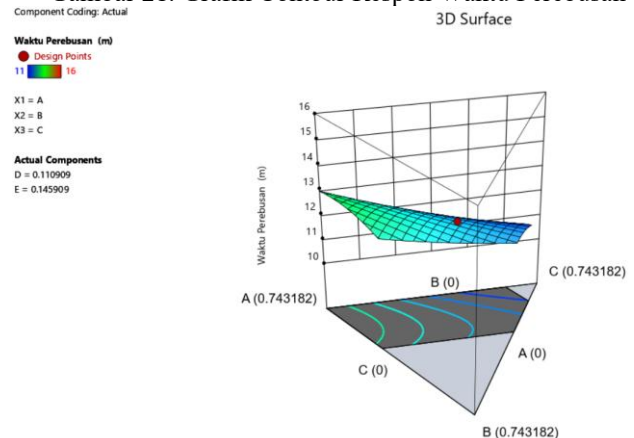
Secara fisikokimia, CMC sebagai hidrokoloid mampu meningkatkan kapasitas pengikatan air dan membentuk jaringan hidrofilik di dalam matriks adonan. Keberadaan jaringan ini dapat memperlambat penetrasi

panas dan difusi air ke dalam inti mie, sehingga memengaruhi lamanya proses gelatinisasi pati dan pemasakan mie secara keseluruhan. Penelitian oleh Glicksman (1983) serta Damodaran et al. (2017) melaporkan bahwa hidrokoloid dapat meningkatkan viskositas sistem dan memodifikasi laju perpindahan panas, yang berdampak langsung pada waktu pemasakan produk berbasis pati.

Interaksi antara CMC dengan STPP dan natrium bikarbonat juga mengindikasikan bahwa perubahan lingkungan ionik dan pH adonan dapat memengaruhi struktur pati dan protein, sehingga turut memodulasi waktu perebusan. Fosfat seperti STPP dilaporkan mampu meningkatkan hidrasi dan memengaruhi konformasi protein, yang selanjutnya berdampak pada laju gelatinisasi pati (Belitz et al., 2009).



Gambar 21. Grafik Contour Respon Waktu Perebusan



Gambar 22. Grafik 3D Surface Respon Waktu Perebusan

Berdasarkan grafik contour respon waktu perebusan, terlihat bahwa waktu perebusan berada pada kisaran ± 11 – 16 menit, dengan zona warna yang menunjukkan variasi waktu perebusan pada kombinasi proporsi komponen yang berbeda.

Zona dengan waktu perebusan lebih singkat (± 11 – 12 menit) umumnya muncul pada kombinasi proporsi CMC yang lebih rendah, sedangkan zona dengan waktu perebusan lebih lama (± 14 – 16 menit) terlihat pada kombinasi CMC yang lebih tinggi dengan proporsi STPP atau natrium bikarbonat tertentu. Pola nonlinier ini menunjukkan bahwa peningkatan waktu perebusan tidak ditentukan oleh satu komponen tunggal, melainkan oleh kombinasi proporsi antar komponen formulasi.

Grafik contour ini mengonfirmasi hasil ANOVA bahwa CMC merupakan faktor kunci dalam pengendalian

waktu perebusan. Pola visual tersebut juga sejalan dengan temuan Hou (2010) dan Fu (2008) yang melaporkan bahwa peningkatan komponen pengikat air dan penguat matriks adonan cenderung memperpanjang waktu pemasakan mie akibat hambatan difusi panas dan air ke dalam struktur mie.

3.2.3.3. Daya Pengembangan

Berdasarkan hasil pengujian pada penelitian tahap II, nilai daya mengembang mi udon berada pada kisaran 5,83–9,13%, dengan nilai rata-rata (mean) sebesar 7,43%. Kisaran ini menunjukkan bahwa mi udon mengalami peningkatan volume yang moderat selama proses pemasakan, yang merupakan karakteristik penting bagi produk mi udon.

Tabel 17. Hasil Uji Respon Daya Pengembangan Mi Udon

Formulasi	Variabel Berubah (%)					Daya Pengembangan (%)
	Titanium Dioxide	Natrium Bikarbonat	STPP	Natrium Karbonat	CMC	
1	0.49	0.17	0.34	0.00	0.00	6.33
2	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.42
3	0.00	0.00	0.47	0.23	0.30	5.81
4	0.59	0.30	0.00	0.11	0.00	6.47
5	0.77	0.00	0.00	0.23	0.00	6.37
6	0.17	0.30	0.00	0.23	0.30	6.90
7	0.70	0.00	0.00	0.00	0.30	6.86
8	0.07	0.30	0.63	0.00	0.00	7.23
9	0.46	0.00	0.24	0.00	0.30	7.64
10	0.20	0.30	0.20	0.00	0.30	7.33
11	0.29	0.30	0.18	0.23	0.00	6.95
12	0.03	0.11	0.63	0.23	0.00	7.28
13	0.58	0.30	0.00	0.00	0.12	8.22
14	0.48	0.13	0.00	0.23	0.16	8.16
15	0.00	0.30	0.42	0.15	0.14	8.28
16	0.37	0.00	0.63	0.00	0.00	8.78
17	0.00	0.07	0.63	0.00	0.30	8.72
18	0.24	0.15	0.36	0.11	0.15	8.16
19	0.76	0.00	0.24	0.00	0.00	9.11

Daya pengembangan mi udon didefinisikan sebagai kecepatan mi membuka dan terurai kembali saat direndam dalam kuah panas, bukan sebagai peningkatan volume fisik. Parameter ini menggambarkan kemampuan struktur mi untuk mengalami relaksasi dan rehidrasi secara cepat ketika kontak dengan medium panas. Daya pengembangan dalam konteks ini sangat penting bagi mi udon, karena berhubungan langsung dengan kenyamanan konsumsi, kecepatan penyajian, serta persepsi tekstur awal saat dimakan (Hou, 2010).

Tabel 18. Ringkasan Hasil Analisis Statistik Respon Waktu Perebusan

Parameter Statistik	Nilai	Interpretasi
Mean	7,43	Kecepatan membuka rata-rata
Standar Deviasi	0,85	Sebaran data sedang
CV (%)	11,44	Variasi data sedang (>10)
R ²	0,8233	Model menjelaskan sebagian besar variasi respon
Adjusted R ²	0,2049	Kecocokan model rendah
Predicted R ²	-4,7346	Kemampuan prediksi model rendah
Adeq Precision	4,4437	Rasio sinyal terhadap noise memadai (>4)
F-value Model	1,33	Statistik uji model
p-value Model	0,4265	Model tidak signifikan (>0,05)

Nilai CV sebesar 11,44% menunjukkan bahwa variasi kecepatan membuka mi udon antar formulasi berada pada tingkat sedang, yang mengindikasikan bahwa perubahan formulasi memberikan pengaruh nyata terhadap respon daya pengembangan, meskipun tidak ekstrem.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	13.45	14	0.9610	1.33	0.4265	not significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	2.81	4	0.7013	0.9715	0.5108	
AB	0.3472	1	0.3472	0.4810	0.5261	
AC	0.0061	1	0.0061	0.0084	0.9315	
AD	0.2060	1	0.2060	0.2854	0.6215	
AE	6.00	1	6.00	8.32	0.0448	
BC	0.5977	1	0.5977	0.8280	0.4143	
BD	0.1153	1	0.1153	0.1597	0.7098	
BE	4.36	1	4.36	6.04	0.0699	
CD	0.3528	1	0.3528	0.4887	0.5230	
CE	5.36	1	5.36	7.42	0.0527	
DE	0.3324	1	0.3324	0.4605	0.5346	
Residual	2.89	4	0.7219			
Cor Total	16.34	18				

Gambar 23. Anova Respon Daya Pengembangan

Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa model kuadratik respon daya pengembangan memiliki nilai p-value sebesar 0,4265 ($p > 0,05$), sehingga model dinyatakan tidak signifikan secara statistik. Hal ini menunjukkan bahwa variasi kecepatan membuka mi udon belum dapat dijelaskan secara kuat oleh model matematis secara keseluruhan.

Namun demikian, nilai R^2 sebesar 0,8233 menunjukkan bahwa model masih mampu menggambarkan kecenderungan umum variasi data. Rendahnya nilai Adjusted R^2 (0,2049) dan Predicted R^2 yang bernilai negatif (-4,7346) menandakan bahwa model tidak layak digunakan sebagai model prediktif. Meskipun demikian, nilai Adeq Precision sebesar 4,4437 (>4) menunjukkan bahwa model masih dapat digunakan untuk mengamati kecenderungan respon dalam ruang desain formulasi (Montgomery, 2017).

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-Titanium Dioxide	6.95	1	0.7543	4.86	9.04	3.46
B-Natrium Bikarbonat	16.23	1	17.86	-33.37	65.83	315.00
C-STPP	10.49	1	2.21	4.36	16.62	16.26
D-Natrium Karbonat	28.28	1	42.28	-89.11	145.66	898.28
E-CMC	-51.59	1	20.58	-108.73	5.54	364.73
AB	-17.61	1	25.39	-88.11	52.89	78.70
AC	0.4529	1	4.95	-13.28	14.19	4.78
AD	-29.65	1	55.49	-183.72	124.43	231.59
AE	83.39	1	28.92	3.10	163.68	94.32
BC	-24.63	1	27.07	-99.79	50.53	71.29
BD	-24.42	1	61.09	-194.03	145.19	73.55
BE	77.26	1	31.44	-10.04	164.56	28.08
CD	-38.11	1	54.51	-189.47	113.24	163.38
CE	83.05	1	30.48	-1.58	167.68	90.67
DE	34.55	1	50.91	-106.80	175.90	41.71

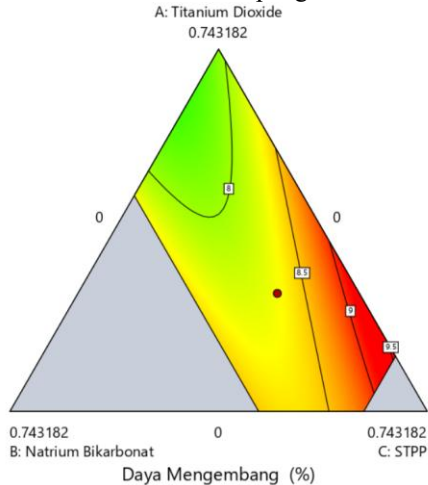
Gambar 24. COefficients in Terms of Coded Factors Respon Daya Pengembangan

Berdasarkan hasil ANOVA, interaksi komponen yang menunjukkan pengaruh signifikan terhadap daya pengembangan adalah Titanium dioxide $\times$ CMC ($A \times E$). Selain itu, interaksi Natrium bikarbonat $\times$ CMC ($B \times E$) serta STPP $\times$ CMC ($C \times E$) menunjukkan kecenderungan mendekati signifikan.

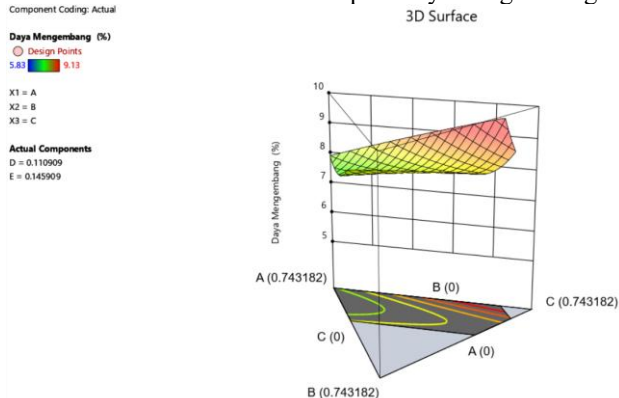
Signifikansi interaksi yang melibatkan CMC menunjukkan bahwa komponen ini memiliki peran dominan dalam menentukan kecepatan membuka mi udon saat kontak dengan kuah panas. CMC sebagai hidrokoloid mampu mengikat air dan membentuk matriks yang memengaruhi laju penetrasi air panas ke dalam struktur mi.

CMC dalam jumlah moderat dapat memfasilitasi rehidrasi yang cepat dengan menjaga porositas matriks,

namun pada konsentrasi yang terlalu tinggi, CMC dapat membentuk jaringan viskoelastis yang terlalu rapat sehingga menghambat proses pembukaan mi. Fenomena ini sesuai dengan laporan Damodaran et al. (2017) dan Glicksman (1983) mengenai pengaruh hidrokoloid terhadap difusi air dalam sistem pangan.



Gambar 25. Grafik Contour Respon Daya Pengembangan



Gambar 26. Grafik 3D Surface Respon Daya Pengembangan

Berdasarkan grafik contour respon daya pengembangan, terlihat bahwa nilai daya pengembangan berada pada kisaran $\pm 5,8$ – $9,1$, dengan variasi yang bergantung pada kombinasi proporsi komponen formulasi.

Tabel 19. Hasil Uji Respon Warna - Chromemeter Mi Udon

Formula	Variabel Berubah (%)					Komponen		
	Titanium Dioxide	Natrium Bikarbonat	STPP	Natrium Karbonat	CMC	L*	a*	b*
1	0.49	0.17	0.34	0.00	0.00	70.7	0.7	29.65
2	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	71.2	0.6	29.4
3	0.00	0.00	0.47	0.23	0.30	67.2	1.1	29.63
4	0.59	0.30	0.00	0.11	0.00	70.76	0.25	27.94
5	0.77	0.00	0.00	0.23	0.00	72.97	0.23	28.11
6	0.17	0.30	0.00	0.23	0.30	69.11	0.05	28.59
7	0.70	0.00	0.00	0.00	0.30	71.8	0.7	29.7
8	0.07	0.30	0.63	0.00	0.00	72.56	0.8	29.86
9	0.46	0.00	0.24	0.00	0.30	73.19	0.58	28.22
10	0.20	0.30	0.20	0.00	0.30	69.83	0.01	28.36
11	0.29	0.30	0.18	0.23	0.00	65.99	1.27	26.92
12	0.03	0.11	0.63	0.23	0.00	68.08	0.65	28.07
13	0.58	0.30	0.00	0.00	0.12	71.67	-0.9	26.28
14	0.48	0.13	0.00	0.23	0.16	69.98	-1.03	25.71
15	0.00	0.30	0.42	0.15	0.14	67.66	0.65	27.46
16	0.37	0.00	0.63	0.00	0.00	70.25	0.69	29.2
17	0.00	0.07	0.63	0.00	0.30	71.82	0.82	29.3

Zona dengan nilai daya pengembangan tertinggi (mi membuka lebih cepat) umumnya muncul pada kombinasi proporsi CMC yang relatif rendah hingga sedang, dikombinasikan dengan proporsi STPP atau natrium bikarbonat tertentu. Sebaliknya, zona dengan nilai daya pengembangan lebih rendah (mi lebih lambat membuka) terlihat pada kombinasi proporsi CMC yang lebih tinggi.

Pola nonlinier pada grafik contour ini mengonfirmasi hasil ANOVA bahwa kecepatan membuka mi udon tidak ditentukan oleh satu komponen tunggal, melainkan oleh interaksi antar komponen. Visualisasi ini sejalan dengan penelitian Hou (2010) dan Fu (2008) yang menyatakan bahwa keseimbangan antara hidrasi pati, kekuatan jaringan gluten, dan keberadaan hidrokoloid menentukan kecepatan rehidrasi mi dalam medium panas.

3.2.3.4. Warna - Chromameter

Berdasarkan hasil pengujian pada penelitian tahap II, Pengujian warna mi udon dilakukan secara objektif menggunakan chroma meter dengan sistem warna CIELAB (L^* , a^* , b^*), di mana parameter L^* menunjukkan tingkat kecerahan, a^* menunjukkan kecenderungan warna merah-hijau, dan b^* menunjukkan kecenderungan warna kuning-biru.

Berdasarkan hasil pengujian, nilai L^* mi udon berada pada kisaran 65,99–74,04, dengan nilai rata-rata sebesar 70,51. Nilai ini menunjukkan bahwa mi udon memiliki tingkat kecerahan yang relatif tinggi dan berada pada rentang warna cerah yang diharapkan untuk produk mi udon.

Nilai a^* mi udon berada pada kisaran $-1,03$ hingga $1,27$, dengan nilai rata-rata sebesar $0,41$, yang menunjukkan bahwa warna mi udon berada sangat dekat dengan titik netral (tidak dominan merah maupun hijau). Kondisi ini sesuai dengan karakteristik mi udon yang diharapkan memiliki warna putih netral tanpa bias warna kemerahan atau kehijauan.

Nilai b^* mi udon berada pada kisaran $25,71$ – $29,86$, dengan nilai rata-rata sebesar $28,32$, yang menunjukkan kecenderungan warna kuning muda pada mi udon. Warna kekuningan ringan ini umum dijumpai pada mi berbasis tepung terigu dan masih dapat diterima sebagai karakter alami produk.

Formula	Variabel Berubah (%)					Komponen		
	Titanium Dioxide	Natrium Bikarbonat	STPP	Natrium Karbonat	CMC	L*	a*	b*
18	0.24	0.15	0.36	0.11	0.15	70.88	0.22	28.2
19	0.76	0.00	0.24	0.00	0.00	74.04	0.32	27.53

Warna cerah pada mi udon umumnya diasosiasikan dengan mutu visual yang baik, kesegaran bahan baku, serta penerimaan konsumen yang lebih tinggi. Nilai L* yang tinggi menunjukkan kemampuan sistem formulasi dalam mempertahankan reflektansi cahaya pada permukaan mi (Hou, 2010; Fu, 2008).

Tabel 20. Ringkasan Hasil Analisis Statistik Respon Warna (L*)

Parameter Statistik	Nilai	Interpretasi
Mean	70,51	Mi udon memiliki tingkat kecerahan tinggi dan visual cerah
Standar Deviasi	2,12	Variasi kecerahan antar formulasi relatif kecil
CV (%)	3,01	Respon L* stabil dan homogen (<10)
R ²	0,5692	Model mampu menjelaskan variasi kecerahan secara moderat
Adjusted R ²	0,4861	Model cukup stabil setelah koreksi
Predicted R ²	0,3615	Model memiliki kemampuan prediksi yang layak
Adeq Precision	6,1296	Rasio sinyal terhadap noise sangat baik (>4)
F-value Model	6,60	Model memiliki kekuatan statistik yang baik
p-value Model	0,0137	Model signifikan, formulasi berpengaruh nyata terhadap kecerahan (<0,05)

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa model linier respon L* bersifat signifikan ($p = 0,0137$), yang berarti variasi formulasi memberikan pengaruh nyata terhadap tingkat kecerahan mi udon. Nilai R² sebesar 0,5692 menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan sekitar 56,92% variasi respon L*.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	47.54	4	11.89	4.63	0.0137	significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	47.54	4	11.89	4.63	0.0137	
Residual	35.98	14	2.57			
Cor Total	83.52	18				

Gambar 27. Anova Respon Warna (L*)

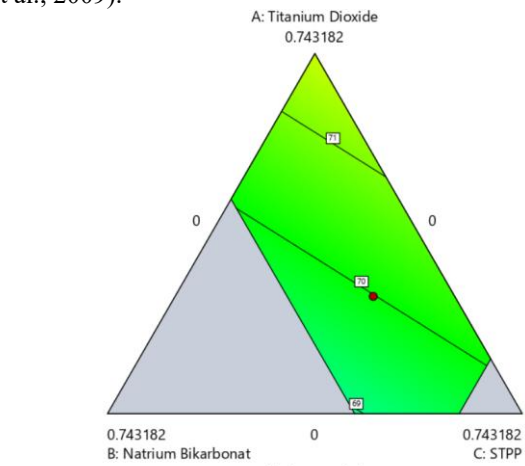
Nilai Adeq Precision sebesar 6,1296 (>4) menunjukkan bahwa rasio sinyal terhadap noise memadai, sehingga model dapat digunakan untuk menavigasi ruang desain formulasi. Dengan demikian, respon L* merupakan salah satu parameter warna yang paling sensitif terhadap perubahan komposisi formulasi pada penelitian ini.

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-Titanium Dioxide	73.30	1	0.8802	71.41	75.18	1.32
B-Natrium Bikarbonat	68.03	1	2.55	62.56	73.51	1.80
C-STPP	70.83	1	1.26	68.13	73.53	1.48
D-Natrium Karbonat	60.62	1	3.38	53.36	67.87	1.62
E-CMC	71.49	1	2.52	66.08	76.90	1.54

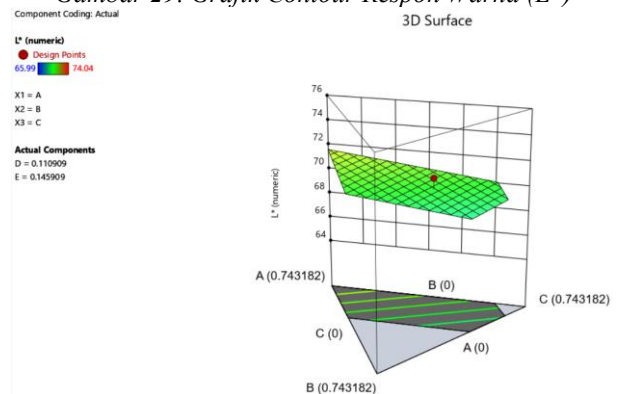
Gambar 28. Coefficients in Terms of Coded Factors Respon Warna (L*)

Berdasarkan koefisien model, titanium dioxide memberikan kontribusi positif terbesar terhadap peningkatan nilai L*, diikuti oleh CMC dan STPP, sedangkan natrium karbonat menunjukkan koefisien

terendah yang mengindikasikan kecenderungan penurunan kecerahan. Secara ilmiah, titanium dioxide dikenal sebagai agen pemutih yang sangat efektif dalam meningkatkan reflektansi cahaya dan kecerahan produk berbasis pati (Belitz et al., 2009).



Gambar 29. Grafik Contour Respon Warna (L*)



Gambar 30. Grafik Contour Respon Warna (L*)

Grafik contour respon L* menunjukkan bahwa zona dengan nilai kecerahan tertinggi berada pada kombinasi proporsi titanium dioxide yang lebih tinggi dengan proporsi alkali yang terkendali. Sebaliknya, zona dengan nilai L* lebih rendah muncul pada kombinasi proporsi natrium karbonat yang relatif tinggi.

Pola ini menunjukkan bahwa peningkatan kecerahan mi udon sangat dipengaruhi oleh keseimbangan antara agen pemutih dan senyawa alkali. Visualisasi contour ini memperkuat hasil ANOVA bahwa respon L* bersifat sensitif terhadap perubahan formulasi dan dapat dikendalikan melalui pengaturan proporsi bahan.

Tabel 21. Ringkasan Hasil Analisis Statistik Respon Warna (a*) – Chromemeter

Parameter Statistik	Nilai	Interpretasi
Mean	0,41	Warna mi udon berada dekat titik netral, tidak dominan merah/hijau
Standar Deviasi	0,58	Variasi respon a* relatif besar dibanding nilai rata-rata
CV (%)	141,46	Variasi relatif sangat tinggi akibat

Parameter Statistik	Nilai	Interpretasi
R ²	0,9042	nilai mean mendekati nol (>10) Model secara matematis menjelaskan variasi data
Adjusted R ²	0,6026	Kestabilan model menurun setelah koreksi
Predicted R ²	-3,5182	Model tidak layak prediktif
Adeq Precision	5,3782	Rasio sinyal terhadap noise masih memadai (>4)
F-value Model	3,00	Kekuatan model sedang
p-value Model	0,1744	Model tidak signifikan, perubahan a* tidak dominan (>0,05)

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa model kuadratik respon a* tidak signifikan secara statistik ($p = 0,1744$), meskipun memiliki nilai R² yang tinggi (0,9042). Nilai Predicted R² yang negatif (-3,5182) menunjukkan bahwa model tidak layak digunakan untuk tujuan prediktif, namun masih dapat digunakan untuk mengevaluasi kecenderungan respon.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	5.56	14	0.3968	2.70	0.1744	not significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	1.98	4	0.4947	3.36	0.1335	
AB	0.1096	1	0.1096	0.7453	0.4367	
AC	0.1021	1	0.1021	0.6943	0.4516	
AD	0.0370	1	0.0370	0.2513	0.6425	
AE	0.9738	1	0.9738	6.62	0.0618	
BC	0.0102	1	0.0102	0.0695	0.8051	
BD	0.0531	1	0.0531	0.3608	0.5804	
BE	1.81	1	1.81	12.28	0.0248	
CD	0.0744	1	0.0744	0.5059	0.5162	
CE	0.6431	1	0.6431	4.37	0.1047	
DE	0.1076	1	0.1076	0.7317	0.4405	
Residual	0.5884	4	0.1471			
Cor Total	6.14	18				

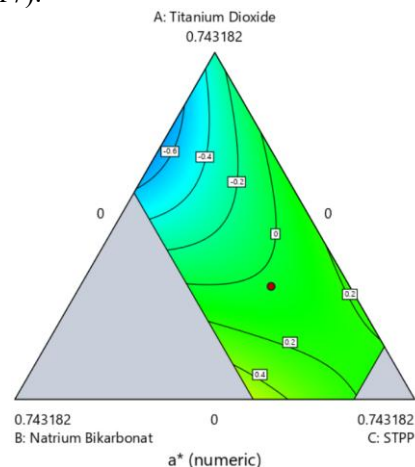
Gambar 5. Anova Respon Warna (a*)

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-Titanium Dioxide	0.5219	1	0.3405	-0.4235	1.47	3.46
B-Natrium Bikarbonat	5.78	1	8.06	-16.61	28.17	315.00
C-STPP	-0.1970	1	0.9968	-2.96	2.57	16.26
D-Natrium Karbonat	-10.98	1	19.09	-63.97	42.01	898.28
E-CMC	23.86	1	9.29	-1.93	49.65	364.73
AB	-9.90	1	11.46	-41.72	21.93	78.70
AC	1.86	1	2.23	-4.34	8.06	4.78
AD	12.56	1	25.05	-56.99	82.11	231.59
AE	-33.59	1	13.05	-69.83	2.66	94.32
BC	-3.22	1	12.22	-37.15	30.71	71.29
BD	16.56	1	27.58	-60.00	93.13	73.55
BE	-49.75	1	14.19	-89.16	-10.34	28.08
CD	17.50	1	24.61	-50.82	85.83	163.38
CE	-28.77	1	13.76	-66.97	9.43	90.67
DE	-19.66	1	22.98	-83.47	44.15	41.71

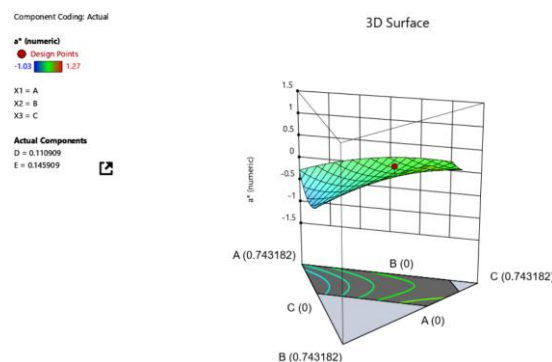
Gambar 6. Coefficients in Terms of Coded Factors Respon Warna (a*)

Beberapa interaksi, khususnya natrium bikarbonat × CMC (BE) menunjukkan pengaruh signifikan ($p = 0,0248$), yang mengindikasikan bahwa interaksi alkali dengan hidrokoloid berperan dalam menggeser kecenderungan warna ke arah kemerahan atau kehijauan. Fenomena ini sejalan dengan laporan bahwa perubahan pH dan struktur matriks pati-

protein dapat memengaruhi persepsi warna melalui perubahan reflektansi dan absorpsi cahaya (Damodaran et al., 2017).



Gambar 7. Grafik Contour Respon Warna (a*)



Gambar 8. Grafik 3D Surface Respon Warna (a*)

Grafik contour respon a* menunjukkan zona nilai mendekati nol pada sebagian besar kombinasi formulasi, yang menandakan kestabilan warna mi udon terhadap perubahan merah-hijau. Zona dengan nilai a* lebih tinggi atau lebih rendah muncul pada kombinasi proporsi alkali dan CMC tertentu, yang mengonfirmasi bahwa respon a* lebih dipengaruhi oleh interaksi komponen dibandingkan oleh efek utama.

Tabel 4. Ringkasan Hasil Analisis Statistik Respon Warna (b*) – Chromemeter

Parameter Statistik	Nilai	Interpretasi
Mean	28,32	Mi udon memiliki nuansa kuning muda alami
Standar Deviasi	1,12	Variasi warna kuning relatif kecil
CV (%)	3,95	Respon b* stabil dan homogen (<10)
R ²	0,3533	Model hanya menjelaskan sebagian kecil variasi respon
Adjusted R ²	0,2308	Kecocokan model rendah
Predicted R ²	-0,4512	Model tidak memiliki kemampuan prediktif
Adeq Precision	4,2750	Rasio sinyal terhadap noise masih memadai (>4)
F-value Model	2,88	Kekuatan model rendah
p-value Model	0,1643	Model tidak signifikan, b* relatif stabil terhadap formulasi (>0,05)

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
	Model	8.94	4	2.24	1.91	0.1643	not significant
	⁽¹⁾ Linear Mixture	8.94	4	2.24	1.91	0.1643	
	Residual	16.37	14	1.17			
	Cor Total	25.31	18				

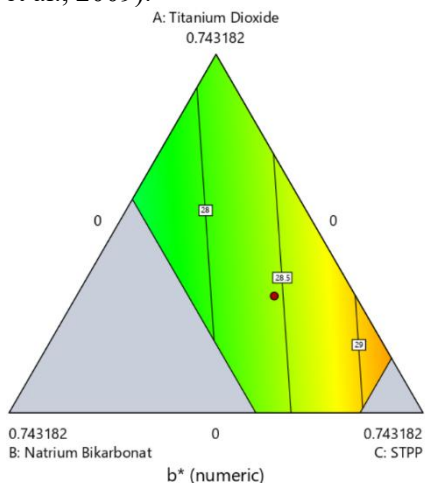
Gambar 9. Anova Respon Warna (b^*)

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa model linier respon b^* tidak signifikan ($p = 0,1643$), dengan nilai R^2 sebesar 0,3533. Meskipun demikian, nilai Adeq Precision sebesar 4,2750 (>4) menunjukkan bahwa model masih memiliki sinyal yang memadai untuk mengevaluasi kecenderungan respon.

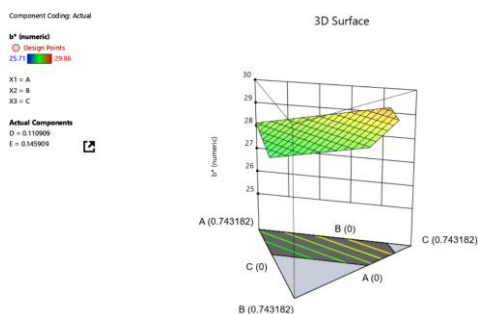
Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-Titanium Dioxide	28.35	1	0.5937	27.08	29.62	1.32
B-Natrium Bikarbonat	26.19	1	1.72	22.50	29.88	1.80
C-STPP	30.06	1	0.8491	28.23	31.88	1.48
D-Natrium Karbonat	25.05	1	2.28	20.15	29.94	1.62
E-CMC	29.47	1	1.70	25.82	33.12	1.54

Gambar 10. Coefficients in Terms of Coded Factors Respon Warna (b^*)

Analisis efek komponen menunjukkan bahwa STPP memberikan kontribusi positif signifikan terhadap peningkatan nilai b^* ($p = 0,0495$), yang mengindikasikan peningkatan nuansa kekuningan. Hal ini diduga berkaitan dengan pengaruh STPP terhadap struktur protein dan distribusi air, yang memengaruhi reflektansi cahaya pada permukaan mi (Belitz et al., 2009).



Gambar 11. Grafik Contour Respon Warna (b^*)



Gambar 12. Grafik 3D Surface Respon Warna (b^*)

Grafik contour respon b^* menunjukkan bahwa zona dengan nilai b^* lebih tinggi berada pada kombinasi proporsi STPP dan CMC yang relatif tinggi, sedangkan zona dengan nilai lebih rendah muncul pada kombinasi proporsi alkali yang lebih tinggi. Pola ini menunjukkan bahwa intensitas warna kuning mi udon dapat dikendalikan melalui keseimbangan antara fosfat, hidrokoloid, dan senyawa alkali.

Secara keseluruhan, pengujian warna mi udon menggunakan chroma meter menunjukkan bahwa respon L^* merupakan parameter warna yang paling sensitif terhadap perubahan formulasi dan dapat dimodelkan secara signifikan. Respon a^* dan b^* menunjukkan variasi yang relatif kecil dan lebih dipengaruhi oleh interaksi antar komponen dibandingkan oleh efek utama.

Hasil ANOVA dan grafik contour menunjukkan bahwa titanium dioxide berperan dominan dalam meningkatkan kecerahan (L^*), sedangkan STPP dan CMC berkontribusi terhadap kestabilan dan nuansa warna (a^* dan b^*). Senyawa alkali cenderung menurunkan kecerahan dan meningkatkan kecenderungan warna kekuningan apabila digunakan pada proporsi tertentu. Dengan demikian, pengendalian keseimbangan antara agen pemutih, fosfat, hidrokoloid, dan alkali menjadi kunci dalam menghasilkan warna mi udon yang cerah, netral, dan stabil.

3.2.3.5. Tekstur – Texture Analyzer

Tekstur merupakan salah satu atribut mutu utama pada mi udon yang berperan penting dalam menentukan karakter produk serta tingkat penerimaan konsumen. Tekstur mi tidak hanya dipengaruhi oleh formulasi bahan, tetapi juga oleh interaksi kompleks antara pati, protein, air, serta bahan tambahan seperti alkali, fosfat, dan hidrokoloid yang membentuk matriks struktural mi selama proses pengolahan (Hou, 2010; Fu, 2008).

Untuk memperoleh gambaran objektif mengenai sifat mekanik mi udon yang dihasilkan pada penelitian tahap II, dilakukan pengujian tekstur menggunakan texture analyzer. Metode ini banyak digunakan dalam penelitian produk mi karena mampu mengukur karakter tekstur secara kuantitatif dan reproduktif, sehingga perbedaan struktur akibat variasi formulasi dapat dianalisis secara lebih akurat dibandingkan penilaian sensoris semata (Bourne, 2002; Chen et al., 2015).

Parameter tekstur yang dianalisis meliputi hardness, adhesiveness, springiness, cohesiveness, gumminess, chewiness, dan resilience, yang masing-masing merepresentasikan aspek kekerasan, kelengketan permukaan, elastisitas, kekompakan struktur internal, serta energi yang dibutuhkan selama proses kunyah. Kombinasi parameter tersebut umum digunakan untuk menggambarkan karakter tekstur produk mi secara menyeluruh karena setiap parameter saling berkaitan dalam merepresentasikan perilaku mekanik mi selama deformasi dan simulasi kunyah (Bourne, 2002; Li

et al., 2014).

Hasil pengujian tekstur mi udon pada berbagai kombinasi formulasi ditampilkan pada Tabel 23, yang menyajikan hubungan antara komposisi bahan penyusun dengan nilai masing-masing parameter tekstur

Tabel 23. Hasil Uji Respon Tekstur – Texture Analyzer Mi Udon

Formula	Variabel Berubah (%)					Komponen						
	Titanium Dioxide	Natrium Bikarbonat	STPP	Natrium Karbonat	CMC	Hardness (gF)	Adhesiveness	Springiness	Cohesiveness	Gumminess (gF)	Chewiness (gF)	Resilience
1	0.49	0.17	0.34	0.00	0.00	1,933	-8.39	0.397	0.288	560	225	0.199
2	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3,800	-90	0.45	0.295	1,121	504	0.16
3	0.00	0.00	0.47	0.23	0.30	6,019	-144.21	0.867	0.305	1,860	1,806	0.243
4	0.59	0.30	0.00	0.11	0.00	5,884	-118.34	0.462	0.298	1,755	818	0.149
5	0.77	0.00	0.00	0.23	0.00	5,601	-198.74	0.489	0.301	1,687	841	0.125
6	0.17	0.30	0.00	0.23	0.30	2,762	-17.96	0.282	0.21	585	159	0.088
7	0.70	0.00	0.00	0.00	0.30	2,300	-30	0.52	0.29	667	347	0.13
8	0.07	0.30	0.63	0.00	0.00	1,914	-43.68	0.558	0.307	577	323	0.138
9	0.46	0.00	0.24	0.00	0.30	2,200	-45	0.49	0.29	638	313	0.14
10	0.20	0.30	0.20	0.00	0.30	2,797	-40.19	0.424	0.261	715	303	0.102
11	0.29	0.30	0.18	0.23	0.00	4,860	-31.68	0.448	0.26	1,263	580	0.151
12	0.03	0.11	0.63	0.23	0.00	2,783	-35.13	0.355	0.265	732	259	0.096
13	0.58	0.30	0.00	0.00	0.12	3,840	-109.71	0.507	0.266	1,011	510	0.088
14	0.48	0.13	0.00	0.23	0.16	3,520	-95	0.52	0.28	986	513	0.095
15	0.00	0.30	0.42	0.15	0.14	3,207	-37.81	0.55	0.298	955	526	0.11
16	0.37	0.00	0.63	0.00	0.00	1,475	-10.34	0.639	0.33	472	304	0.12
17	0.00	0.07	0.63	0.00	0.30	1,900	-15	0.6	0.31	589	353	0.13
18	0.24	0.15	0.36	0.11	0.15	3,100	-25	0.5	0.29	899	450	0.14
19	0.76	0.00	0.24	0.00	0.00	4,069	-12.64	0.385	0.299	1,225	490	0.146

1. Tekstur – Hardness

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan texture analyzer, nilai hardness mi udon berada pada kisaran ± 1.475 –6.019 gf, dengan nilai rata-rata (mean) sebesar 3.366,53 gf. Nilai ini menunjukkan bahwa mi udon yang dihasilkan memiliki tingkat kekerasan yang bervariasi dari relatif lunak hingga cukup keras.

Hardness merupakan parameter instrumental yang merepresentasikan gaya maksimum yang dibutuhkan untuk menekan atau memutus struktur mi. Pada produk mi udon, hardness yang terlalu tinggi akan menghasilkan tekstur yang terlalu keras dan sulit dikunyah, sedangkan hardness yang terlalu rendah akan menyebabkan mi menjadi terlalu lunak dan kehilangan karakter kenyal khas udon (Hou, 2010; Fu, 2008).

Tabel 24. Ringkasan Hasil Analisis Statistik Respon Tekstur - Hardness

Parameter Statistik	Nilai	Interpretasi
Mean (gf)	3366,53	Nilai rata-rata hardness berada pada tingkat sedang, menunjukkan mi udon cukup kenyal dan tidak terlalu keras
Standar Deviasi	585,91	Sebaran data hardness antar formulasi tergolong sedang
CV (%)	17,40	CV > 10% → variasi hardness cukup tinggi, menunjukkan formulasi memberikan perbedaan tekstur yang nyata
R ²	0,9608	Model menjelaskan 96,08% variasi respon hardness, menunjukkan kecocokan model sangat baik
Adjusted R ²	0,8237	Model tetap stabil setelah koreksi jumlah faktor
Predicted R ²	0,1145	Kemampuan prediksi terbatas, model lebih cocok untuk interpretasi tren
Adeq Precision	8,3310	Adeq > 4 → rasio sinyal terhadap noise sangat memadai, model layak digunakan untuk navigasi ruang desain

instrumental. Data pada tabel tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam analisis statistik, pembahasan pengaruh masing-masing komponen formulasi, serta evaluasi keterkaitan antar parameter tekstur pada subbab pembahasan berikutnya.

Parameter Statistik	Nilai	Interpretasi
F-value Model	7,01	Kekuatan model statistik tergolong baik
p-value Model	0,0367	p-value < 0,05 → model signifikan secara statistik, formulasi berpengaruh nyata terhadap hardness

Nilai CV sebesar 17,40% menunjukkan bahwa variasi hardness antar formulasi berada pada tingkat sedang, yang masih dapat diterima untuk pengujian tekstur instrumental pada produk mi. Nilai Adeq Precision > 4 menandakan bahwa model memiliki rasio sinyal terhadap noise yang sangat baik dan layak digunakan untuk mengevaluasi ruang desain formulasi.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	3.367E+07	14	2.405E+06	7.01	0.0367	significant
(¹)Linear Mixture	1.705E+07	4	4.263E+06	12.42	0.0158	
AB	2.502E+06	1	2.502E+06	7.29	0.0541	
AC	2.809E+05	1	2.809E+05	0.8182	0.4169	
AD	3.063E+05	1	3.063E+05	0.8921	0.3984	
AE	1.344E+05	1	1.344E+05	0.3916	0.5654	
BC	2.546E+06	1	2.546E+06	7.42	0.0528	
BD	3.164E+05	1	3.164E+05	0.9217	0.3914	
BE	3.622E+06	1	3.622E+06	10.55	0.0314	
CD	5.202E+05	1	5.202E+05	1.52	0.2858	
CE	33380.30	1	33380.30	0.0972	0.7707	
DE	2.849E+05	1	2.849E+05	0.8298	0.4139	
Residual	1.373E+06	4	3.433E+05			
Cor Total	3.504E+07	18				

Gambar 13. Anova Respon Tekstur - Hardness

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa model kuadratik respon hardness signifikan secara statistik ($p = 0,0367$), yang berarti variasi formulasi memberikan pengaruh nyata terhadap nilai hardness mi udon.

Nilai R² sebesar 0,9608 menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan sekitar 96,08% variasi respon hardness, sedangkan nilai Adjusted R² sebesar 0,8237 menunjukkan bahwa model tetap stabil setelah koreksi jumlah faktor.

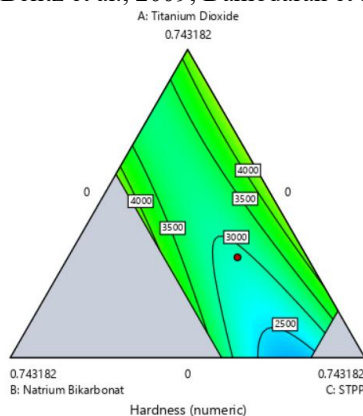
Meskipun nilai Predicted R^2 (0,1145) relatif rendah dan tidak mendekati Adjusted R^2 , nilai Adeq Precision sebesar 8,3310 menunjukkan bahwa model masih memiliki sinyal yang sangat memadai untuk mengevaluasi kecenderungan respon dan navigasi ruang desain (Montgomery, 2017). Dengan demikian, respon hardness merupakan parameter instrumental yang paling kuat secara statistik dibandingkan beberapa respon fisik dan sensoris lainnya.

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-Titanium Dioxide	4004.99	1	520.17	2560.76	5449.22	3.46
B-Natrium Bikarbonat	41739.04	1	12319.18	7535.52	75942.55	315.00
C-STPP	-926.80	1	1522.73	-5154.57	3300.97	16.26
D-Natrium Karbonat	-15898.87	1	29155.91	-96848.65	65050.90	898.28
E-CMC	6376.74	1	14191.15	-33024.21	45777.70	364.73
AB	-47271.87	1	17509.78	-95886.82	1343.08	78.70
AC	3085.46	1	3411.12	-6385.33	12556.25	4.78
AD	36145.88	1	38268.61	-70104.83	1,424E+05	231.59
AE	-12479.69	1	19942.48	-67848.87	42889.50	94.32
BC	-50833.11	1	18667.34	-1,027E+05	995.74	71.29
BD	-40443.76	1	42127.24	-1,574E+05	76520.21	73.55
BE	-70428.71	1	21683.41	-1,306E+05	-10225.91	28.08
CD	46277.58	1	37593.42	-58098.48	1,507E+05	163.38
CE	6554.65	1	21020.07	-51806.41	64915.71	90.67
DE	31981.55	1	35108.24	-65494.54	1,295E+05	41.71

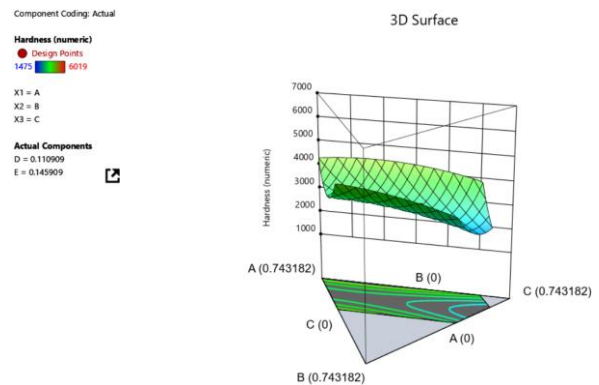
Gambar 14. Coefficients in Terms of Coded Factors Respon Tekstur - Hardness

Berdasarkan tabel ANOVA dan koefisien model, linear mixture menunjukkan pengaruh signifikan ($p = 0,0158$), yang mengindikasikan bahwa proporsi relatif antar komponen berperan penting dalam menentukan hardness mi udon. Selain itu, interaksi natrium bikarbonat $\times$ CMC ($B \times E$) menunjukkan pengaruh signifikan ($p = 0,0314$), sedangkan interaksi titanium dioxide $\times$ natrium bikarbonat ($A \times B$) dan natrium bikarbonat $\times$ STPP ($B \times C$) menunjukkan kecenderungan mendekati signifikan.

Secara fisikokimia, natrium bikarbonat berperan dalam meningkatkan pH adonan sehingga memperkuat jaringan protein dan meningkatkan kekerasan struktur mi. Namun, ketika dikombinasikan dengan CMC, efek ini dapat dimodulasi melalui peningkatan pengikatan air dan perubahan viskoelastisitas matriks. STPP dan natrium karbonat juga berkontribusi dalam mengatur struktur protein-pati, yang berdampak langsung pada hardness produk (Belitz et al., 2009; Damodaran et al., 2017).



Gambar 15. Grafik Contour Respon Tekstur – Hardness



Gambar 16. Grafik 3D Surface Respon Tekstur – Hardness

Berdasarkan grafik contour respon hardness, terlihat bahwa nilai hardness tertinggi berada pada kombinasi proporsi natrium bikarbonat yang relatif tinggi, sedangkan nilai hardness yang lebih rendah muncul pada kombinasi proporsi CMC dan STPP yang lebih tinggi dengan alkali yang terkendali.

Pola nonlinier pada grafik contour menunjukkan bahwa hardness tidak hanya dipengaruhi oleh satu komponen tunggal, melainkan oleh interaksi antar komponen formulasi. Grafik contour ini berfungsi sebagai alat visual untuk mengidentifikasi zona formulasi yang menghasilkan hardness optimum sesuai karakter mi udon yang diinginkan, yaitu cukup kenyal namun tidak terlalu keras.

Secara keseluruhan, respon hardness mi udon yang diuji menggunakan texture analyzer menunjukkan variasi yang nyata dan dapat dimodelkan secara signifikan. Model kuadratik yang digunakan memiliki kecocokan yang sangat baik dan sinyal yang kuat, meskipun kemampuan prediktifnya masih terbatas.

Hasil ANOVA dan grafik contour secara konsisten menunjukkan bahwa proporsi alkali, khususnya natrium bikarbonat, merupakan faktor utama yang meningkatkan hardness, sementara CMC dan STPP berperan dalam memoderasi kekerasan melalui mekanisme pengikatan air dan stabilisasi matriks pati-protein. Oleh karena itu, pengaturan keseimbangan antara alkali dan hidrokoloid menjadi kunci dalam menghasilkan mi udon dengan tingkat hardness yang sesuai, yaitu kenyal, elastis, dan nyaman dikonsumsi.

2. Tekstur – Adhesiveness

Adhesiveness merupakan parameter tekstur instrumental yang merepresentasikan gaya negatif (energi) yang diperlukan untuk melepaskan probe dari permukaan sampel setelah kompresi. Pada produk mi udon, adhesiveness berkaitan dengan tingkat kelengketan permukaan mi, yang memengaruhi sensasi lengket di mulut dan kemudahan mi terpisah saat konsumsi.

Berdasarkan hasil pengujian, nilai adhesiveness mi udon berada pada kisaran $-198,74$ hingga $-8,39$, dengan nilai rata-rata (mean) sebesar $-58,36$. Nilai adhesiveness yang semakin negatif menunjukkan tingkat kelengketan yang semakin tinggi. Dalam konteks mi udon, adhesiveness yang terlalu tinggi berpotensi menurunkan kenyamanan konsumsi karena mi terasa lengket, sedangkan adhesiveness yang terlalu rendah dapat menyebabkan mi terasa kering dan kurang halus (Hou, 2010; Fu, 2008).

Tabel 5. Ringkasan Hasil Analisis Statistik Respon Tekstur - *Adhesiveness*

Parameter Statistik	Nilai	Interpretasi
Mean	-58,36	Tingkat adhesiveness berada pada kisaran sedang, menunjukkan kelengketan mi masih dapat diterima
Standar Deviasi	17,21	Variasi adhesiveness antar formulasi tergolong nyata
CV (%)	29,49	CV > 10% → variasi adhesiveness tinggi, menunjukkan formulasi sangat memengaruhi sifat lengket mi
R ²	0,9765	Model menjelaskan 97,65% variasi respon adhesiveness, menunjukkan kecocokan model sangat baik
Adjusted R ²	0,8942	Model tetap stabil setelah koreksi jumlah faktor
Predicted R ²	0,3826	Kemampuan prediksi cukup, meskipun lebih rendah dari Adjusted R ²
Adeq Precision	12,7733	Adeq > 4 → rasio sinyal terhadap noise sangat memadai
F-value Model	11,86	Kekuatan model statistik tinggi
p-value Model	0,0141	p-value < 0,05 → model signifikan secara statistik

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa model kuadratik respon adhesiveness signifikan secara statistik ($p = 0,0141$), yang menandakan bahwa variasi formulasi memberikan pengaruh nyata terhadap tingkat kelengketan mi udon.

Nilai R² (0,9765) dan Adjusted R² (0,8942) yang tinggi menunjukkan bahwa model sangat baik dalam menjelaskan variasi data adhesiveness. Meskipun Predicted R² (0,3826) tidak terlalu mendekati Adjusted R², nilai Adeq Precision sebesar 12,77 mengindikasikan bahwa model memiliki sinyal yang sangat kuat dan layak digunakan untuk mengevaluasi kecenderungan respon serta navigasi ruang desain formulasi. Dengan demikian, adhesiveness termasuk respon tekstur instrumental yang sensitif dan kuat secara statistik, serupa dengan hardness.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	49190.77	14	3513.63	11.86	0.0141	significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	18228.50	4	4557.12	15.39	0.0107	
AB	3729.26	1	3729.26	12.59	0.0238	
AC	1458.35	1	1458.35	4.92	0.0907	
AD	175.82	1	175.82	0.5937	0.4840	
AE	159.41	1	159.41	0.5383	0.5038	
BC	4347.89	1	4347.89	14.68	0.0186	
BD	2214.80	1	2214.80	7.48	0.0522	
BE	2177.81	1	2177.81	7.35	0.0534	
CD	84.69	1	84.69	0.2860	0.6212	
CE	297.90	1	297.90	1.01	0.3726	
DE	511.19	1	511.19	1.73	0.2592	
Residual	1184.57	4	296.14			
Cor Total	50375.34	18				

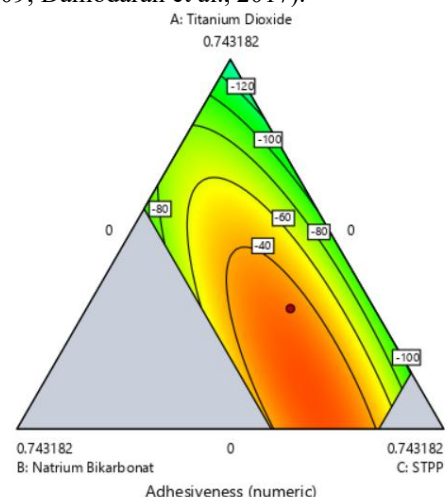
Gambar 17. Anova Respon Tekstur - *Adhesiveness*

Berdasarkan hasil ANOVA, komponen linear mixture berpengaruh signifikan terhadap adhesiveness ($p = 0,0107$), yang menunjukkan bahwa proporsi relatif antar komponen formulasi berperan penting dalam menentukan tingkat kelengketan mi udon. Selain itu, interaksi titanium dioxide × natrium bikarbonat ($A \times B$) dan natrium bikarbonat × STPP ($B \times C$) menunjukkan pengaruh signifikan ($p < 0,05$).

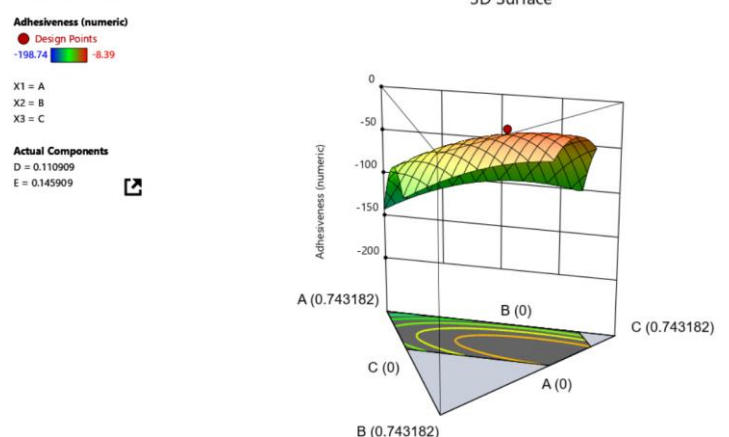
Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-Titanium Dioxide	-79.43	1	15.28	-121.85	-37.01	3.46
B-Natrium Bikarbonat	-1519.97	1	361.83	-2524.56	-515.37	315.00
C-STPP	-45.44	1	44.72	-169.62	78.73	16.26
D-Natrium Karbonat	71.53	1	856.34	-2306.05	2449.11	898.28
E-CMC	343.99	1	416.81	-813.26	1501.24	364.73
AB	1825.00	1	514.28	397.12	3252.87	78.70
AC	222.33	1	100.19	-55.84	500.50	4.78
AD	-866.05	1	1123.99	-3986.75	2254.65	231.59
AE	-429.75	1	585.73	-2056.00	1196.50	94.32
BC	2100.84	1	548.28	578.57	3623.10	71.29
BD	3383.77	1	1237.32	-51.59	6819.12	73.55
BE	1727.06	1	636.86	-41.16	3495.28	28.08
CD	-590.47	1	1104.16	-3656.11	2475.17	163.38
CE	-619.21	1	617.38	-2333.34	1094.92	90.67
DE	-1354.78	1	1031.17	-4217.76	1508.20	41.71

Gambar 18. Coefficients in Terms of Coded Factors Respon Tekstur - *Adhesiveness*

Secara mekanistik, natrium bikarbonat berperan meningkatkan pH adonan yang dapat memperkuat hidrasi pati dan protein, sehingga meningkatkan adhesiveness. Interaksinya dengan STPP dan CMC dapat memperbesar kemampuan pengikatan air dan meningkatkan kelengketan permukaan mi. Sebaliknya, titanium dioxide dan natrium karbonat cenderung berperan sebagai komponen penyeimbang yang memoderasi efek lengket tersebut (Belitz et al., 2009; Damodaran et al., 2017).



Gambar 19. Grafik Contour Respon Tekstur – *Adhesiveness*



Gambar 20. Grafik 3D Surface Respon Tekstur – *Adhesiveness*

Berdasarkan grafik contour respon adhesiveness,

terlihat bahwa zona dengan nilai adhesiveness paling negatif (kelengketan tinggi) berada pada kombinasi proporsi natrium bikarbonat yang tinggi, terutama ketika dikombinasikan dengan STPP atau CMC.

Sebaliknya, zona dengan nilai adhesiveness yang lebih rendah (kurang lengket) muncul pada kombinasi proporsi titanium dioxide dan natrium karbonat yang lebih dominan. Pola ini menunjukkan bahwa adhesiveness mi udon sangat dipengaruhi oleh interaksi antar komponen, bukan oleh satu komponen tunggal, dan dapat dikendalikan melalui keseimbangan formulasi.

Secara keseluruhan, respon adhesiveness mi udon menunjukkan variasi yang nyata dan dapat dimodelkan secara signifikan. Model kuadratik yang digunakan memiliki kecocokan yang sangat baik dan sinyal yang kuat, sehingga adhesiveness menjadi salah satu respon tekstur instrumental yang penting dalam evaluasi mutu mi udon.

Hasil ANOVA dan grafik contour menunjukkan bahwa natrium bikarbonat merupakan faktor utama yang meningkatkan adhesiveness, sedangkan STPP dan CMC memperkuat efek tersebut melalui mekanisme pengikatan air dan pembentukan matriks viskoelastis. Oleh karena itu, pengendalian proporsi alkali dan hidrokoloid menjadi kunci untuk memperoleh mi udon dengan tingkat kelengketan yang optimal, yaitu cukup halus dan tidak lengket berlebihan saat dikonsumsi.

3. Tekstur – Springiness

Springiness merupakan parameter tekstur instrumental yang menggambarkan kemampuan mi untuk kembali ke bentuk semula setelah mengalami deformasi akibat gaya tekan. Pada mi udon, springiness berkaitan langsung dengan elastisitas dan sensasi “memantul” saat dikunyah, yang menjadi karakter tekstur penting produk udon.

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan texture analyzer, nilai springiness mi udon berada pada kisaran 0,32–0,69, dengan nilai rata-rata (mean) sebesar 0,497. Nilai ini menunjukkan bahwa mi udon memiliki elastisitas sedang dan masih berada dalam rentang yang dapat diterima untuk produk mi basah

Tabel 6. Ringkasan Hasil Analisis Statistik Respon Tekstur - Springiness

Parameter Statistik	Nilai	Interpretasi
Mean	0,497	Springiness berada pada tingkat sedang, menunjukkan elastisitas mi cukup baik
Standar Deviasi	0,0938	Variasi elastisitas antar formulasi tergolong nyata
CV (%)	18,87	CV > 10% → variasi springiness cukup tinggi, menunjukkan formulasi memengaruhi elastisitas
R ²	0,8723	Model menjelaskan 87,23% variasi respon springiness
Adjusted R ²	0,4253	Kestabilan model menurun setelah koreksi jumlah faktor
Predicted R ²	-8,0195	Model tidak memiliki kemampuan prediktif
Adeq Precision	6,0397	Adeq > 4 → rasio sinyal terhadap noise memadai
F-value Model	1,95	Kekuatan model tergolong rendah
p-value Model	0,2722	p-value > 0,05 → model tidak signifikan secara statistik
Hasil ANOVA menunjukkan bahwa model		

kuadratik respon springiness tidak signifikan secara statistik dengan nilai p-value sebesar 0,2722 ($p > 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa variasi formulasi belum memberikan pengaruh yang cukup kuat secara statistik terhadap elastisitas mi udon.

Meskipun demikian, nilai R² sebesar 0,8723 menunjukkan bahwa model secara matematis mampu menjelaskan variasi data. Namun, rendahnya nilai Adjusted R² (0,4253) serta Predicted R² yang bernilai negatif mengindikasikan bahwa model tidak stabil dan tidak layak digunakan untuk tujuan prediksi. Nilai Adeq Precision sebesar 6,04 (>4) menunjukkan bahwa model masih memiliki sinyal yang memadai untuk mengevaluasi kecenderungan respon dalam ruang desain (Montgomery, 2017).

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
	Model	0.2404	14	0.0172	1.95	0.2722	not significant
	⁽¹⁾ Linear Mixture	0.0839	4	0.0210	2.38	0.2103	
	AB	0.0410	1	0.0410	4.66	0.0970	
	AC	0.0008	1	0.0008	0.0957	0.7725	
	AD	0.0000	1	0.0000	0.0015	0.9710	
	AE	0.0231	1	0.0231	2.62	0.1809	
	BC	0.0444	1	0.0444	5.04	0.0881	
	BD	0.0163	1	0.0163	1.86	0.2447	
	BE	0.0105	1	0.0105	1.19	0.3370	
	CD	0.0002	1	0.0002	0.0256	0.8806	
	CE	0.0254	1	0.0254	2.89	0.1646	
	DE	0.0123	1	0.0123	1.40	0.3021	
	Residual	0.0352	4	0.0088			
	Cor Total	0.2756	18				

Gambar 21. Anova Respon Tekstur - Springiness

Berdasarkan tabel ANOVA, tidak terdapat komponen maupun interaksi yang signifikan pada taraf kepercayaan 95%. Namun, beberapa interaksi menunjukkan kecenderungan mendekati signifikan, seperti natrium bikarbonat × STPP (BC) dan titanium dioxide × natrium bikarbonat (AB).

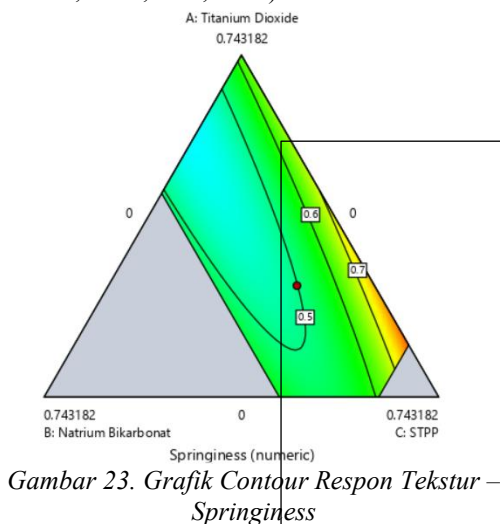
Secara mekanistik, springiness dipengaruhi oleh keseimbangan antara jaringan protein, gelatinisasi pati, dan distribusi air. Natrium bikarbonat berpotensi meningkatkan elastisitas melalui peningkatan pH dan penguatan jaringan protein, sedangkan STPP dan CMC berperan dalam mengatur hidrasi dan fleksibilitas matriks pati-protein. Ketidaksignifikanan model menunjukkan bahwa efek komponen terhadap springiness bersifat halus dan saling menyeimbangkan, sehingga sulit dibedakan secara statistik (Belitz et al., 2009; Hou, 2010).

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-Titanium Dioxide	0.4126	1	0.0833	0.1814	0.6439	3.46
B-Natrium Bikarbonat	5.00	1	1.97	-0.4778	10.47	315.00
C-STPP	0.7279	1	0.2438	0.0510	1.40	16.26
D-Natrium Karbonat	1.02	1	4.67	-11.94	13.98	898.28
E-CMC	-3.01	1	2.27	-9.32	3.30	364.73
AB	-6.05	1	2.80	-13.84	1.73	78.70
AC	-0.1689	1	0.5461	-1.69	1.35	4.78
AD	-0.2369	1	6.13	-17.25	16.77	231.59
AE	5.17	1	3.19	-3.70	14.03	94.32
BC	-6.71	1	2.99	-15.01	1.59	71.29
BD	-9.19	1	6.74	-27.91	9.54	73.55
BE	-3.78	1	3.47	-13.42	5.85	28.08
CD	-0.9631	1	6.02	-17.67	15.75	163.38
CE	5.72	1	3.37	-3.63	15.06	90.67
DE	6.65	1	5.62	-8.95	22.26	41.71

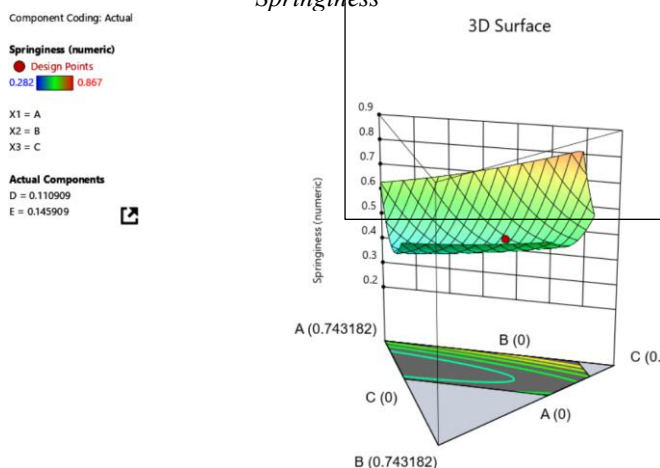
Gambar 22. Coefficients in Terms of Coded Factors
Respon Tekstur - Springiness

Berdasarkan tabel ANOVA, tidak terdapat komponen maupun interaksi yang signifikan pada taraf kepercayaan 95%. Namun, beberapa interaksi menunjukkan kecenderungan mendekati signifikan, seperti natrium bikarbonat $\times$ STPP (BC) dan titanium dioxide $\times$ natrium bikarbonat (AB).

Secara mekanistik, springiness dipengaruhi oleh keseimbangan antara jaringan protein, gelatinisasi pati, dan distribusi air. Natrium bikarbonat berpotensi meningkatkan elastisitas melalui peningkatan pH dan penguatan jaringan protein, sedangkan STPP dan CMC berperan dalam mengatur hidrasi dan fleksibilitas matriks pati-protein. Ketidaksignifikanan model menunjukkan bahwa efek komponen terhadap springiness bersifat halus dan saling menyeimbangkan, sehingga sulit dibedakan secara statistik (Belitz et al., 2009; Hou, 2010).



Gambar 23. Grafik Contour Respon Tekstur – Springiness



Gambar 24. Grafik 3D Surface Respon Tekstur – Springiness

Berdasarkan grafik contour respon springiness, terlihat bahwa nilai springiness relatif homogen di sebagian besar ruang desain, dengan variasi ringan pada kombinasi proporsi alkali dan hidrokoloid tertentu.

Zona dengan nilai springiness sedikit lebih tinggi cenderung muncul pada kombinasi natrium bikarbonat dan STPP dalam proporsi moderat, sedangkan nilai yang lebih rendah terlihat pada kombinasi CMC yang lebih tinggi.

Pola ini menunjukkan bahwa peningkatan elastisitas mi tidak ditentukan oleh satu komponen tunggal, melainkan oleh keseimbangan formulasi, dan perubahan kecil sulit terdeteksi secara signifikan.

Secara keseluruhan, respon springiness mi udon berada pada tingkat elastisitas sedang dan relatif homogen. Model statistik yang digunakan tidak signifikan dan memiliki kemampuan prediktif yang rendah, sehingga springiness tidak diposisikan sebagai respon utama dalam optimasi formulasi.

Namun demikian, nilai CV yang cukup tinggi (>10%) menunjukkan bahwa formulasi tetap memberikan pengaruh terhadap elastisitas mi, meskipun pengaruh tersebut tidak cukup kuat secara statistik. Nilai Adeq Precision > 4 memberikan dasar ilmiah untuk tetap menggunakan grafik contour sebagai alat eksplorasi tren formulasi. Oleh karena itu, springiness diposisikan sebagai parameter pendukung yang melengkapi evaluasi tekstur mi udon bersama hardness dan adhesiveness.

1. Tekstur – Cohesiveness

Cohesiveness merupakan parameter tekstur instrumental yang menggambarkan kemampuan struktur mi untuk mempertahankan integritas internalnya selama proses deformasi berulang. Parameter ini merepresentasikan seberapa baik matriks pati-protein pada mi udon tetap menyatu ketika diberikan gaya tekan, dan berhubungan langsung dengan kesan tekstur yang kompak dan tidak mudah hancur saat dikunyah.

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan texture analyzer, nilai cohesiveness mi udon berada pada kisaran 0,21–0,33, dengan nilai rata-rata (mean) sebesar 0,2865. Nilai ini menunjukkan bahwa mi udon memiliki tingkat kohesivitas sedang, yang masih sesuai dengan karakter mi udon yang diharapkan, yaitu kompak namun tidak rapuh.

Tabel 7. Ringkasan Hasil Analisis Statistik Respon Tekstur - Cohesiveness

Parameter Statistik	Nilai	Interpretasi
Mean	0,2865	Tingkat cohesiveness berada pada kategori sedang, menunjukkan struktur mi cukup kompak
Standar Deviasi	0,0191	Sebaran data relatif kecil
CV (%)	6,68	CV < 10% → variasi data rendah, menunjukkan cohesiveness relatif stabil antar formulasi
R ²	0,5754	Model menjelaskan 57,54% variasi respon cohesiveness
Adjusted R ²	0,4541	Kecocokan model masih tergolong sedang setelah koreksi
Predicted R ²	0,1419	Kemampuan prediksi terbatas, namun masih bernilai positif
Adeq Precision	8,2685	Adeq > 4 → rasio sinyal terhadap noise sangat memadai
F-value Model	4,74	Kekuatan model statistik tergolong baik
p-value Model	0,0125	p-value < 0,05 → model signifikan secara statistik

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa model linier respon cohesiveness signifikan secara statistik dengan nilai p-value sebesar 0,0125 ($p < 0,05$), yang menandakan bahwa variasi formulasi memberikan pengaruh nyata terhadap kohesivitas mi udon.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	0.0070	4	0.0017	4.74	0.0125	significant
^(*) Linear Mixture	0.0070	4	0.0017	4.74	0.0125	
Residual	0.0051	14	0.0004			
Cor Total	0.0121	18				

Gambar 25. Anova Respon Tekstur - Cohesiveness

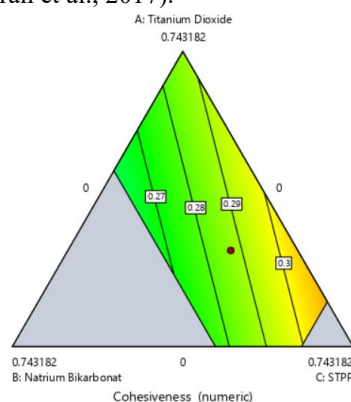
Nilai R^2 sebesar 0,5754 menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan lebih dari setengah variasi respon cohesiveness, sedangkan nilai Adjusted R^2 sebesar 0,4541 mengindikasikan kestabilan model yang cukup baik setelah koreksi jumlah faktor. Nilai Predicted R^2 sebesar 0,1419 memang lebih rendah, namun masih bernilai positif dan didukung oleh Adeq Precision sebesar 8,27 (>4), sehingga model layak digunakan untuk mengevaluasi kecenderungan respon dalam ruang desain formulasi (Montgomery, 2017).

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-Titanium Dioxide	0.3035	1	0.0105	0.2810	0.3260	1.32
B-Natrium Bikarbonat	0.2143	1	0.0305	0.1490	0.2796	1.80
C-STPP	0.3381	1	0.0150	0.3059	0.3704	1.48
D-Natrium Karbonat	0.2328	1	0.0404	0.1462	0.3195	1.62
E-CMC	0.2490	1	0.0301	0.1844	0.3136	1.54

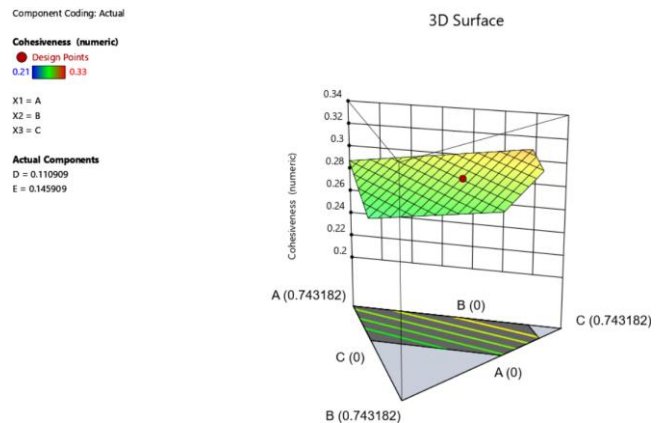
Gambar 26. Coefficients in Terms of Coded Factors Respon Tekstur – Cohesiveness

Berdasarkan analisis *component effects*, STPP (C) menunjukkan pengaruh positif yang paling signifikan terhadap cohesiveness ($p = 0,0018$), diikuti oleh natrium bikarbonat (B) yang menunjukkan pengaruh negatif signifikan ($p = 0,0322$). Komponen lain seperti titanium dioxide, natrium karbonat, dan CMC menunjukkan pengaruh yang tidak signifikan secara individual.

Secara fisikokimia, STPP berperan dalam meningkatkan stabilitas jaringan protein dan interaksi protein-pati, sehingga memperkuat integritas internal struktur mi dan meningkatkan cohesiveness. Sebaliknya, natrium bikarbonat dapat meningkatkan pH adonan yang berpotensi melemahkan kohesivitas struktur apabila digunakan berlebihan, karena matriks menjadi lebih rapuh akibat perubahan keseimbangan hidrasi (Belitz et al., 2009; Damodaran et al., 2017).



Gambar 27. Grafik Contour Respon Tekstur – Cohesiveness



Gambar 28. Grafik 3D Surface Respon Tekstur – Cohesiveness

Berdasarkan grafik contour respon cohesiveness, terlihat bahwa nilai cohesiveness tertinggi berada pada kombinasi proporsi STPP yang lebih dominan, sedangkan nilai yang lebih rendah muncul pada kombinasi proporsi natrium bikarbonat yang lebih tinggi.

Pola ini menunjukkan bahwa cohesiveness mi udon sangat dipengaruhi oleh keseimbangan antara fosfat dan alkali. Grafik contour berfungsi sebagai konfirmasi visual hasil ANOVA bahwa peningkatan cohesiveness dapat dicapai dengan mengoptimalkan proporsi STPP dan mengendalikan penggunaan natrium bikarbonat.

Secara keseluruhan, respon cohesiveness mi udon menunjukkan variasi yang rendah namun signifikan secara statistik, yang menandakan bahwa perubahan formulasi memengaruhi kohesivitas struktur mi secara nyata namun terkendali. Model linier yang digunakan memiliki kecocokan yang cukup baik dan sinyal yang kuat, sehingga cohesiveness dapat diposisikan sebagai parameter tekstur instrumental yang penting dan reliabel.

Hasil ANOVA dan grafik contour secara konsisten menunjukkan bahwa STPP merupakan komponen utama yang meningkatkan cohesiveness, sedangkan natrium bikarbonat berperan menurunkan cohesiveness apabila digunakan berlebihan. Oleh karena itu, pengaturan keseimbangan antara fosfat dan alkali menjadi kunci untuk memperoleh mi udon dengan struktur yang kompak, tidak mudah hancur, dan nyaman dikonsumsi.

2. Tekstur – Gumminess

Gumminess merupakan parameter tekstur instrumental yang merepresentasikan energi yang dibutuhkan untuk mengunyah produk hingga siap ditelan, dan secara teoritis merupakan hasil perkalian antara hardness dan cohesiveness. Pada produk mi udon, gumminess berkaitan dengan sensasi “berat” saat dikunyah; nilai yang terlalu tinggi dapat menimbulkan kesan liat dan melelahkan saat konsumsi, sedangkan nilai yang terlalu rendah dapat menghasilkan tekstur yang terlalu lunak dan kurang berkarakter.

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan texture analyzer, nilai gumminess mi udon berada pada kisaran ± 472 –1860, dengan nilai rata-rata (mean) sebesar 963,00. Rentang ini menunjukkan bahwa formulasi menghasilkan variasi gumminess yang cukup lebar, mencerminkan perbedaan struktur mekanik mi akibat variasi komposisi bahan.

Tabel 8. Ringkasan Hasil Analisis Statistik Respon Tekstur - *Gumminess*

Parameter Statistik	Nilai	Interpretasi
Mean	963,00	Nilai gumminess berada pada tingkat sedang, menunjukkan energi kunyah masih dapat diterima
Standar Deviasi	180,27	Sebaran data gumminess antar formulasi tergolong nyata
CV (%)	18,72	CV > 10% → variasi gumminess cukup tinggi, menunjukkan formulasi sangat memengaruhi tekstur kunyah
R ²	0,9605	Model menjelaskan 96,05% variasi respon gumminess, kecocokan model sangat baik
Adjusted R ²	0,8222	Model tetap stabil setelah koreksi jumlah faktor
Predicted R ²	0,0243	Kemampuan prediksi terbatas, model lebih tepat untuk analisis tren
Adeq Precision	8,3168	Adeq > 4 → rasio sinyal terhadap noise sangat memadai
F-value Model	6,95	Kekuatan model statistik tergolong baik
p-value Model	0,0373	p-value < 0,05 → model signifikan secara statistik

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa model kuadrat respon gumminess signifikan secara statistik dengan nilai p-value sebesar 0,0373 ($p < 0,05$), yang menandakan bahwa variasi formulasi memberikan pengaruh nyata terhadap energi kunyah mi udon.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	3.160E+06	14	2.257E+05	6.95	0.0373	significant
(*) Linear Mixture	1.309E+06	4	3.272E+05	10.07	0.0230	
AB	2.602E+05	1	2.602E+05	8.01	0.0474	
AC	21917.91	1	21917.91	0.6745	0.4576	
AD	79764.07	1	79764.07	2.45	0.1922	
AE	13748.31	1	13748.31	0.4231	0.5509	
BC	2.524E+05	1	2.524E+05	7.77	0.0495	
BD	10687.85	1	10687.85	0.3289	0.5970	
BE	3.953E+05	1	3.953E+05	12.16	0.0252	
CD	1.062E+05	1	1.062E+05	3.27	0.1449	
CE	3039.71	1	3039.71	0.0935	0.7750	
DE	88879.02	1	88879.02	2.74	0.1735	
Residual	1.300E+05	4	32495.99			
Cor Total	3.290E+06	18				

Gambar 29. Anova Respon Tekstur - *Gumminess*

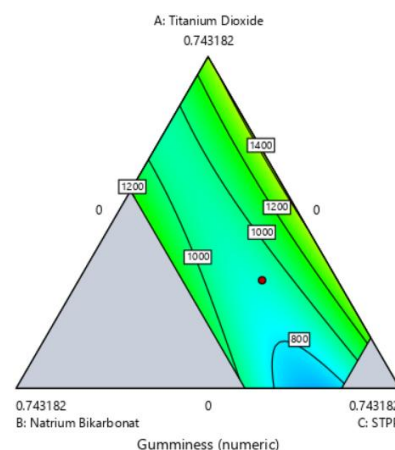
Nilai R² (0,9605) dan Adjusted R² (0,8222) yang tinggi menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan hampir seluruh variasi data gumminess. Meskipun Predicted R² (0,0243) relatif rendah dan tidak mendekati Adjusted R², nilai Adeq Precision sebesar 8,32 (>4) menegaskan bahwa model memiliki sinyal yang kuat dan tetap layak digunakan untuk mengevaluasi kecenderungan respon dan navigasi ruang desain formulasi (Montgomery, 2017).

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-Titanium Dioxide	1194.91	1	160.04	750.56	1639.25	3.46
B-Natrium Bikarbonat	13026.08	1	3790.24	2502.68	23549.47	315.00
C-STPP	-218.71	1	468.50	-1519.47	1082.05	16.26
D-Natrium Karbonat	-10543.69	1	8970.40	-35449.50	14362.12	898.28
E-CMC	1976.77	1	4366.19	-10145.72	14099.26	364.73
AB	-15244.29	1	5387.23	-30201.65	-286.93	78.70
AC	861.92	1	1049.50	-2051.96	3775.80	4.78
AD	18446.61	1	11774.10	-14243.54	51136.76	231.59
AE	-3990.93	1	6135.70	-21026.36	13044.51	94.32
BC	-16005.79	1	5743.38	-31951.97	-59.61	71.29
BD	-7433.24	1	12961.28	-43419.54	28553.05	73.55
BE	-23267.80	1	6671.33	-41790.39	-4745.21	28.08
CD	20912.62	1	11566.36	-11200.75	53026.00	163.38
CE	1977.97	1	6467.24	-15977.97	19933.91	90.67
DE	17864.00	1	10801.75	-12126.46	47854.47	41.71

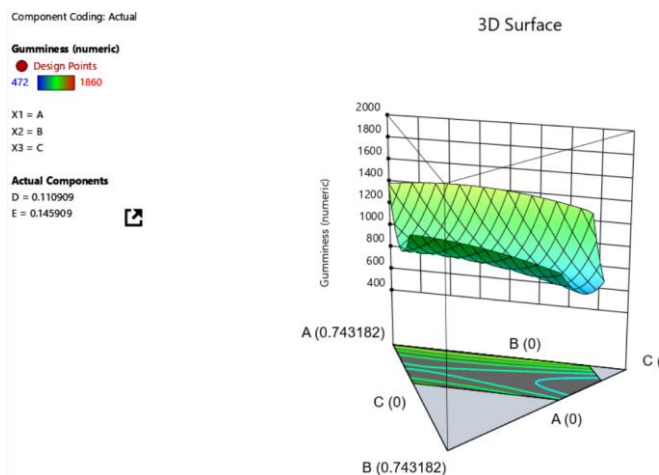
Gambar 30. Coefficients in Terms of Coded Factors Respon Tekstur - *Gumminess*

Berdasarkan tabel ANOVA, linear mixture berpengaruh signifikan terhadap gumminess ($p = 0,0230$), yang menunjukkan bahwa proporsi relatif antar komponen formulasi sangat menentukan karakter energi kunyah mi udon. Selain itu, beberapa interaksi menunjukkan pengaruh signifikan, yaitu A×B (titanium dioxide × natrium bikarbonat), B×C (natrium bikarbonat × STPP), dan B×E (natrium bikarbonat × CMC) ($p < 0,05$).

Secara mekanistik, natrium bikarbonat berperan dominan dalam meningkatkan gumminess melalui peningkatan pH yang memperkuat jaringan protein dan meningkatkan hardness. Interaksinya dengan STPP dan CMC memperkuat kemampuan pengikatan air dan integritas matriks pati-protein, sehingga meningkatkan energi yang dibutuhkan untuk mengunyah mi. Sebaliknya, natrium karbonat dan STPP secara individual cenderung menurunkan gumminess apabila digunakan berlebih, karena dapat melemahkan kohesivitas struktur (Belitz et al., 2009; Damodaran et al., 2017).



Gambar 31. Grafik Contour Respon Tekstur – *Gumminess*



Gambar 32. Grafik 3D Surface Respon Tekstur – Gumminess

Berdasarkan grafik contour respon gumminess, terlihat bahwa nilai gumminess tertinggi berada pada kombinasi proporsi natrium bikarbonat yang tinggi, terutama ketika dikombinasikan dengan CMC atau STPP. Sebaliknya, zona dengan nilai gumminess lebih rendah muncul pada kombinasi proporsi natrium karbonat dan STPP yang lebih dominan. Pola ini menunjukkan bahwa gumminess mi udon sangat dipengaruhi oleh interaksi antar komponen, khususnya alkali dengan fosfat dan hidrokoloid, dan dapat dikendalikan melalui pengaturan keseimbangan formulasi.

Secara keseluruhan, respon gumminess mi udon menunjukkan variasi yang nyata dan signifikan secara statistik. Model kuadratik yang digunakan memiliki kecocokan yang sangat baik dan sinyal yang kuat, meskipun kemampuan prediktifnya masih terbatas. Nilai CV yang lebih besar dari 10% menunjukkan bahwa formulasi memberikan perbedaan tekstur kunyah yang jelas, sedangkan Adeq Precision > 4 memastikan bahwa model layak digunakan untuk analisis kontur dan evaluasi tren.

Hasil ANOVA dan grafik contour secara konsisten menunjukkan bahwa natrium bikarbonat merupakan faktor utama peningkat gumminess, dengan STPP dan CMC berperan memperkuat efek tersebut melalui mekanisme pengikatan air dan penguatan matriks pati-protein. Oleh karena itu, pengendalian proporsi alkali dan hidrokoloid menjadi kunci dalam memperoleh mi udon dengan tingkat gumminess yang optimal, yaitu cukup kenyal dan tidak melelahkan saat dikunyah.

3. Tekstur – Chewiness

Chewiness merupakan parameter tekstur instrumental yang menggambarkan energi total yang dibutuhkan untuk mengunyah produk hingga siap ditelan, dan secara teoritis merupakan hasil perkalian antara gumminess dan springiness. Pada mi udon, chewiness berkaitan erat dengan sensasi kunyah yang dirasakan konsumen, khususnya persepsi “liat namun elastis” yang menjadi ciri khas produk.

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan texture analyzer, nilai chewiness mi udon berada pada kisaran 159–1806, dengan nilai rata-rata (mean) sebesar 506,53. Rentang nilai ini menunjukkan bahwa formulasi

menghasilkan perbedaan yang nyata pada karakter energi kunyah mi, dari relatif ringan hingga cukup berat saat dikunyah.

Tabel 9. Ringkasan Hasil Analisis Statistik Respon Tekstur - Chewiness

Parameter Statistik	Nilai	Interpretasi
Mean	506,53	Nilai chewiness berada pada tingkat sedang, menunjukkan energi kunyah masih dapat diterima
Standar Deviasi	154,31	Sebaran data chewiness antar formulasi tergolong besar
CV (%)	30,46	CV > 10% → variasi chewiness tinggi, menunjukkan formulasi sangat memengaruhi energi kunyah
R ²	0,9598	Model menjelaskan 95,98% variasi respon chewiness, kecocokan model sangat baik
Adjusted R ²	0,8192	Model relatif stabil setelah koreksi jumlah faktor
Predicted R ²	-1,4232	Model tidak memiliki kemampuan prediktif, lebih sesuai untuk analisis tren
Adeq Precision	11,3238	Adeq > 4 → rasio sinyal terhadap noise sangat memadai
F-value Model	6,83	Kekuatan model statistik tergolong baik
p-value Model	0,0385	p-value < 0,05 → model signifikan secara statistik

Data ini menunjukkan bahwa meskipun kemampuan prediksi model rendah, respon chewiness sangat sensitif terhadap perubahan formulasi dan dapat dianalisis secara sah menggunakan pendekatan kontur dan kecenderungan respon..

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	2.275E+06	14	1.625E+05	6.83	0.0385	significant
(*)Linear Mixture	5.975E+05	4	1.494E+05	6.27	0.0515	
AB	2.485E+05	1	2.485E+05	10.44	0.0320	
AC	20620.20	1	20620.20	0.8660	0.4047	
AD	8636.30	1	8636.30	0.3627	0.5795	
AE	91.07	1	91.07	0.0038	0.9537	
BC	2.414E+05	1	2.414E+05	10.14	0.0334	
BD	78387.61	1	78387.61	3.29	0.1438	
BE	3.168E+05	1	3.168E+05	13.31	0.0218	
CD	17686.24	1	17686.24	0.7428	0.4374	
CE	18840.67	1	18840.67	0.7913	0.4240	
DE	56973.04	1	56973.04	2.39	0.1968	
Residual	95241.05	4	23810.26			
Cor Total	2.371E+06	18				

Gambar 33. Anova Respon Tekstur - Chewiness

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa model kuadratik respon chewiness signifikan secara statistik dengan nilai p-value sebesar 0,0385 ($p < 0,05$), yang berarti variasi komposisi formulasi memberikan pengaruh nyata terhadap energi kunyah mi udon.

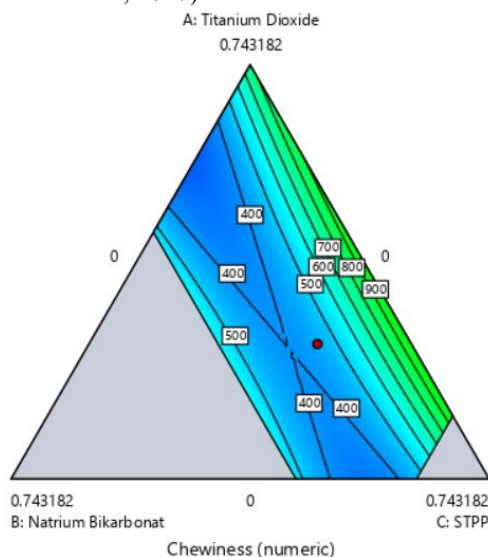
Nilai R² (0,9598) dan Adjusted R² (0,8192) yang tinggi menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan sebagian besar variasi respon chewiness. Namun, nilai Predicted R² yang bernilai negatif (-1,4232) menandakan bahwa model tidak stabil untuk tujuan prediksi. Meskipun demikian, nilai Adeq Precision sebesar 11,32 (>4) menunjukkan bahwa model memiliki sinyal yang sangat kuat dan tetap layak digunakan untuk mengevaluasi kecenderungan respon dan navigasi ruang desain formulasi (Montgomery, 2017)

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-Titanium Dioxide	499.40	1	136.99	119.05	879.75	3.4
B-Natrium Bikarbonat	12283.83	1	3244.40	3275.94	21291.72	315.0
C-STPP	-226.03	1	401.03	-1339.46	887.40	16.2
D-Natrium Karbonat	-2447.35	1	7678.54	-23766.40	18871.70	898.2
E-CMC	-599.87	1	3737.40	-10976.57	9776.82	364.7
AB	-14898.04	1	4611.40	-27701.34	-2094.73	78.7
AC	836.01	1	898.36	-1658.23	3330.26	4.7
AD	6069.83	1	10078.48	-21912.51	34052.18	231.5
AE	324.81	1	5252.08	-14257.30	14906.92	94.3
BC	-15655.14	1	4916.26	-29304.86	-2005.42	71.2
BD	-20130.61	1	11094.69	-50934.41	10673.20	73.5
BE	-20829.99	1	5710.57	-36685.09	-4974.90	28.0
CD	8532.96	1	9900.66	-18955.67	36021.59	163.3
CE	4924.39	1	5535.88	-10445.66	20294.44	90.6
DE	14302.56	1	9246.16	-11368.89	39974.01	41.7

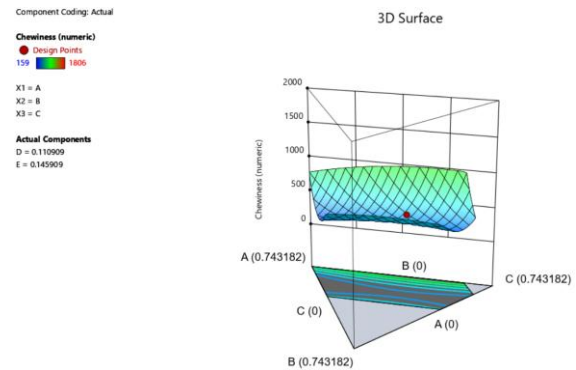
Gambar 34. Coefficients in Terms of Coded Factors
Respon Tekstur - Chewiness

Berdasarkan hasil ANOVA, interaksi A×B (titanium dioxide × natrium bikarbonat), B×C (natrium bikarbonat × STPP), dan B×E (natrium bikarbonat × CMC) menunjukkan pengaruh signifikan terhadap chewiness ($p < 0,05$).

Secara mekanistik, natrium bikarbonat berperan dominan dalam meningkatkan chewiness melalui peningkatan pH adonan yang memperkuat jaringan protein dan meningkatkan hardness serta gumminess. Interaksinya dengan STPP dan CMC memperkuat pengikatan air dan kohesivitas matriks pati-protein, sehingga meningkatkan energi total yang dibutuhkan untuk mengunyah mi. Sebaliknya, penggunaan natrium karbonat dan STPP secara berlebihan dapat menurunkan chewiness akibat melemahnya elastisitas struktur (Belitz et al., 2009; Damodaran et al., 2017).



Gambar 35. Grafik Contour Respon Tekstur – Chewiness



Gambar 36. Grafik 3D Surface Respon Tekstur – Chewiness

Berdasarkan grafik contour respon chewiness, terlihat bahwa nilai chewiness tertinggi berada pada kombinasi proporsi natrium bikarbonat yang relatif tinggi, terutama ketika dikombinasikan dengan CMC atau STPP. Sebaliknya, zona dengan nilai chewiness lebih rendah muncul pada kombinasi proporsi titanium dioxide dan natrium karbonat yang lebih dominan. Pola nonlinier pada grafik contour menunjukkan bahwa chewiness mi udon ditentukan oleh interaksi antar komponen, bukan oleh satu komponen tunggal, dan dapat dikendalikan melalui keseimbangan formulasi.

Secara keseluruhan, respon chewiness mi udon menunjukkan variasi yang tinggi dan signifikan secara statistik, yang menandakan bahwa perubahan formulasi sangat memengaruhi karakter energi kunyah mi. Nilai CV yang lebih besar dari 10% menunjukkan perbedaan tekstur kunyah yang jelas antar formulasi, sedangkan Adeq Precision > 4 memastikan bahwa model memiliki sinyal yang kuat untuk analisis kontur.

Meskipun Predicted R^2 bernilai negatif, model tetap sah digunakan untuk mengevaluasi kecenderungan respon karena didukung oleh nilai R^2 yang tinggi dan signifikansi model secara statistik. Hasil ANOVA dan grafik contour secara konsisten menunjukkan bahwa natrium bikarbonat merupakan faktor utama peningkat chewiness, dengan STPP dan CMC berperan memperkuat efek tersebut melalui mekanisme penguatan dan stabilisasi matriks pati-protein. Oleh karena itu, pengaturan keseimbangan alkali dan hidrokoloid menjadi kunci dalam menghasilkan mi udon dengan chewiness yang optimal, yaitu liat, elastis, dan tidak melelehkan saat dikunyah.

4. Tekstur – Resilience

Resilience merupakan parameter tekstur instrumental yang menggambarkan kemampuan mi untuk kembali ke bentuk semula secara cepat setelah mengalami deformasi pada kompresi pertama. Parameter ini berkaitan dengan daya pulih elastik awal, dan pada produk mi udon berhubungan dengan sensasi “lentur awal” sebelum proses kunyah berulang.

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan texture analyzer, nilai resilience mi udon berada pada kisaran 0,088–0,243, dengan nilai rata-rata (mean) sebesar 0,1342. Nilai ini menunjukkan bahwa mi udon memiliki kemampuan pemulihan elastik awal pada tingkat rendah hingga sedang, yang masih sesuai dengan karakter mi basah yang bersifat lunak namun tidak rapuh.

Tabel 10. Ringkasan Hasil Analisis Statistik Respon Tekstur – *Resilience*

Parameter Statistik	Nilai	Interpretasi
Mean	0,1342	Tingkat resilience berada pada kategori rendah–sedang, menunjukkan daya pulih elastik awal terbatas
Standar Deviasi	0,0205	Sebaran data relatif kecil
CV (%)	15,31	CV > 10% → variasi resilience cukup tinggi, menunjukkan formulasi memengaruhi elastisitas awal
R ²	0,9366	Model menjelaskan 93,66% variasi respon resilience secara matematis
Adjusted R ²	0,7146	Kestabilan model masih tergolong baik setelah koreksi
Predicted R ²	-2,6966	Model tidak memiliki kemampuan prediktif, mean lebih baik sebagai prediktor
Adeq Precision	8,0642	Adeq > 4 → rasio sinyal terhadap noise sangat memadai
F-value Model	4,22	Kekuatan model sedang
p-value Model	0,0872	p-value > 0,05 → model tidak signifikan secara statistik

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa model kuadrat respon resilience tidak signifikan secara statistik dengan nilai p-value sebesar 0,0872 ($p > 0,05$), yang mengindikasikan bahwa variasi formulasi belum memberikan pengaruh yang cukup kuat secara statistik terhadap kemampuan pemulihan elastik awal mi udon

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	0.0249	14	0.0018	4.22	0.0872	not significant
(1) Linear Mixture	0.0039	4	0.0010	2.28	0.2216	
AB	0.0002	1	0.0002	0.4596	0.5350	
AC	0.0033	1	0.0033	7.85	0.0487	
AD	0.0000	1	0.0000	0.0734	0.7998	
AE	0.0031	1	0.0031	7.25	0.0545	
BC	0.0006	1	0.0006	1.52	0.2853	
BD	0.0000	1	0.0000	0.0436	0.8448	
BE	0.0043	1	0.0043	10.15	0.0333	
CD	0.0002	1	0.0002	0.3972	0.5628	
CE	0.0011	1	0.0011	2.67	0.1775	
DE	3.966E-06	1	3.966E-06	0.0094	0.9275	
Residual	0.0017	4	0.0004			
Cor Total	0.0266	18				

Gambar 37. Anova Respon Tekstur - *Resilience*

Meskipun demikian, nilai R² (0,9366) dan Adjusted R² (0,7146) menunjukkan bahwa model secara matematis mampu menjelaskan variasi data. Namun, Predicted R² yang bernilai negatif menandakan bahwa model tidak stabil untuk tujuan prediksi. Nilai Adeq Precision sebesar 8,06 (>4) menunjukkan bahwa model tetap memiliki sinyal yang kuat untuk mengevaluasi kecenderungan respon dan visualisasi ruang desain (Montgomery, 2017)

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-Titanium Dioxide	0.1530	1	0.0182	0.1024	0.2037	3.46
B-Natrium Bikarbonat	-0.0477	1	0.4320	-1.25	1.15	315.00
C-STPP	-0.0445	1	0.0534	-0.1928	0.1037	16.26
D-Natrium Karbonat	-0.2592	1	1.02	-3.10	2.58	898.28
E-CMC	1.35	1	0.4977	-0.0288	2.73	364.73
AB	0.4163	1	0.6141	-1.29	2.12	78.70
AC	0.3351	1	0.1196	0.0030	0.6673	4.78
AD	0.3637	1	1.34	-3.36	4.09	231.59
AE	-1.88	1	0.6994	-3.83	0.0586	94.32
BC	0.8068	1	0.6547	-1.01	2.62	71.29
BD	0.3086	1	1.48	-3.79	4.41	73.55
BE	-2.42	1	0.7605	-4.53	-0.3116	28.08
CD	0.8309	1	1.32	-2.83	4.49	163.38
CE	-1.20	1	0.7372	-3.25	0.8419	90.67
DE	-0.1193	1	1.23	-3.54	3.30	41.71

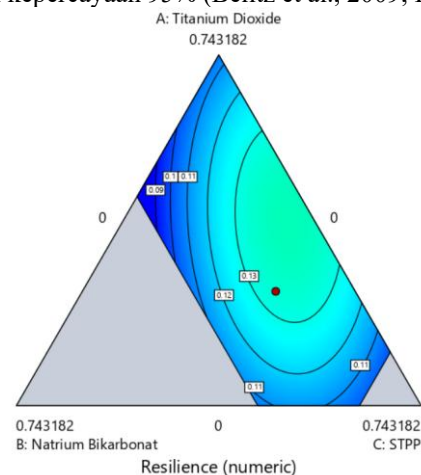
Gambar 38. Coefficients in Terms of Coded Factors Respon Tekstur - *Resilience*

Berdasarkan hasil ANOVA, terdapat beberapa interaksi yang berpengaruh signifikan terhadap resilience, yaitu:

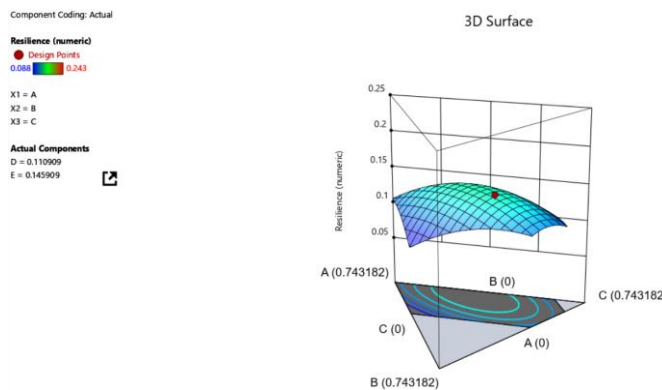
A×C (Titanium dioxide × STPP) ($p = 0,0487$)

B×E (Natrium bikarbonat × CMC) ($p = 0,0333$)

sementara efek linier dan interaksi lainnya tidak signifikan secara statistik. Secara mekanistik, resilience dipengaruhi oleh elastisitas awal matriks pati–protein dan distribusi air. Interaksi STPP dengan komponen lain berperan dalam memperkuat ikatan protein–pati, sedangkan CMC meningkatkan fleksibilitas dan retensi air. Namun, pengaruh komponen tersebut bersifat halus dan saling menyeimbangkan, sehingga sulit terdeteksi secara signifikan pada taraf kepercayaan 95% (Belitz et al., 2009; Hou, 2010).



Gambar 39. Grafik Contour Respon Tekstur – *Resilience*



Gambar 40. Grafik 3D Surface Respon Tekstur – Resilience

Berdasarkan grafik contour respon resilience, terlihat bahwa nilai resilience relatif homogen di sebagian besar ruang desain, dengan zona nilai yang sedikit lebih tinggi pada kombinasi STPP dan CMC dalam proporsi moderat, serta nilai yang lebih rendah pada dominasi natrium karbonat atau natrium bikarbonat. Pola kontur yang tidak tajam menunjukkan bahwa resilience bukan respon yang sangat sensitif terhadap perubahan formulasi, dan lebih dipengaruhi oleh keseimbangan keseluruhan matriks daripada satu komponen tunggal.

Secara keseluruhan, respon resilience mi udon menunjukkan variasi yang cukup tinggi ($CV > 10\%$) namun tidak signifikan secara statistik. Model kuadratik yang digunakan memiliki kecocokan matematis yang baik dan sinyal yang kuat (Adeq Precision > 4), tetapi tidak memiliki kemampuan prediktif yang memadai.

Hasil ANOVA dan grafik contour mengindikasikan bahwa resilience merupakan parameter tekstur instrumental pendukung, yang melengkapi evaluasi elastisitas mi bersama parameter springiness dan cohesiveness, namun bukan respon utama dalam optimasi formulasi. Oleh karena itu, resilience diposisikan sebagai indikator tambahan untuk memahami perilaku elastik awal mi udon, bukan sebagai penentu utama mutu tekstur.

3.2.3. Respon Organoleptik

3.2.3.1. Warna

Berdasarkan hasil pengujian mutu hedonik, skor kesukaan warna mi udon berada pada kisaran 2,8–4,6 dengan nilai rata-rata (mean) sebesar 3,79. Nilai ini menunjukkan bahwa secara umum warna mi udon yang dihasilkan berada pada kategori netral hingga agak disukai oleh panelis.

Tabel 11. Hasil Uji Respon Warna Mi Udon

Formula	Variabel Berubah (%)					Warna
	Titanium Dioxide	Sodium Bicarbonate	STPP	Titanium Dioxide	Sodium Bicarbonate	
1	0.49	0.17	1	0.49	0.17	1
2	1.00	0.00	2	1.00	0.00	2
3	0.00	0.00	3	0.00	0.00	3
4	0.59	0.30	4	0.59	0.30	4
5	0.77	0.00	5	0.77	0.00	5
6	0.17	0.30	6	0.17	0.30	6
7	0.70	0.00	7	0.70	0.00	7
8	0.07	0.30	8	0.07	0.30	8
9	0.46	0.00	9	0.46	0.00	9
10	0.20	0.30	10	0.20	0.30	10

Formula	Variabel Berubah (%)					Warna
	Titanium Dioxide	Sodium Bicarbonate	STPP	Titanium Dioxide	Sodium Bicarbonate	
11	0.29	0.30	11	0.29	0.30	11
12	0.03	0.11	12	0.03	0.11	12
13	0.58	0.30	13	0.58	0.30	13
14	0.48	0.13	14	0.48	0.13	14
15	0.00	0.30	15	0.00	0.30	15
16	0.37	0.00	16	0.37	0.00	16
17	0.00	0.07	17	0.00	0.07	17
18	0.24	0.15	18	0.24	0.15	18
19	0.76	0.00	19	0.76	0.00	19

Warna merupakan atribut sensoris awal yang sangat menentukan penerimaan konsumen terhadap produk mi. Pada mi udon, warna yang diharapkan umumnya adalah putih cerah hingga krem pucat yang merepresentasikan kesegaran dan mutu bahan baku. Warna yang terlalu kusam atau terlalu gelap cenderung menurunkan persepsi mutu meskipun sifat tekstur dan rasa masih dapat diterima (Hou, 2010; Fu, 2008).

Tabel 32. Ringkasan Hasil Analisis Statistik Respon Warna

Parameter Statistik	Nilai	Interpretasi
Mean	3,79	Warna mi udon berada pada tingkat penerimaan netral hingga agak disukai oleh panelis
Standar Deviasi	0,79	Terdapat variasi penilaian panelis yang cukup nyata
CV (%)	20,85	Variasi penilaian relatif tinggi, mencerminkan subjektivitas uji hedonic (>10)
R ²	0,3356	Model hanya mampu menjelaskan sebagian kecil variasi respon warna
Adjusted R ²	0,1458	Kecocokan model rendah setelah koreksi jumlah faktor
Predicted R ²	-0,3456	Model tidak memiliki kemampuan prediktif
Adeq Precision	3,7486	Rasio sinyal terhadap noise tidak memadai (<4)
F-value Model	1,77	Kekuatan model lemah ($>0,05$)
Parameter Statistik	Nilai	Interpretasi

Nilai CV sebesar 20,85% menunjukkan bahwa penilaian warna oleh panelis memiliki variasi yang cukup tinggi. Hal ini umum terjadi pada uji hedonik karena penilaian warna sangat dipengaruhi oleh persepsi visual subjektif, preferensi individu, serta sensitivitas panelis terhadap perbedaan warna yang relatif kecil (Lawless & Heymann, 2010).

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	4.42	4	1.10	1.77	0.1914	not significant
(1) Linear Mixture	4.42	4	1.10	1.77	0.1914	
Residual	8.74	14	0.6244			
Cor Total	13.16	18				

Gambar 41. Anova Respon Warna

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa model linier respon warna memiliki nilai p-value sebesar 0,1914 ($p > 0,05$), sehingga model dinyatakan tidak signifikan secara statistik. Hal ini menunjukkan bahwa variasi skor kesukaan warna mi udon belum dapat dijelaskan secara kuat oleh variasi komposisi formulasi dalam desain campuran.

Nilai R² sebesar 0,3356 serta Adjusted R² yang rendah (0,1458) menunjukkan bahwa hanya sebagian kecil variasi penilaian warna yang dapat dijelaskan oleh model. Selain itu, nilai Predicted R² yang bernilai negatif (-0,3456)

mengindikasikan bahwa model tidak layak digunakan untuk tujuan prediksi. Nilai Adeq Precision sebesar 3,7486 (<4) menunjukkan bahwa rasio sinyal terhadap noise tidak memadai, sehingga model tidak direkomendasikan untuk navigasi ruang desain formulasi

Kondisi ini menunjukkan bahwa respon warna pada uji hedonik lebih banyak dipengaruhi oleh persepsi panelis dan faktor visual subjektif dibandingkan oleh variasi kecil dalam komposisi bahan.

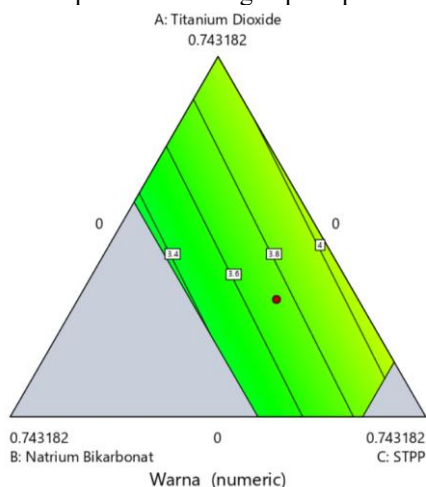
Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-Titanium Dioxide	4.37	1	0.4339	3.44	5.30	1.32
B-Natrium Bikarbonat	2.31	1	1.26	-0.3894	5.00	1.80
C-STPP	4.51	1	0.6206	3.18	5.84	1.48
D-Natrium Karbonat	0.9068	1	1.67	-2.67	4.48	1.62
E-CMC	4.32	1	1.24	1.66	6.99	1.54

Gambar 42. Coefficients in Terms of Coded Factors Respon Warna

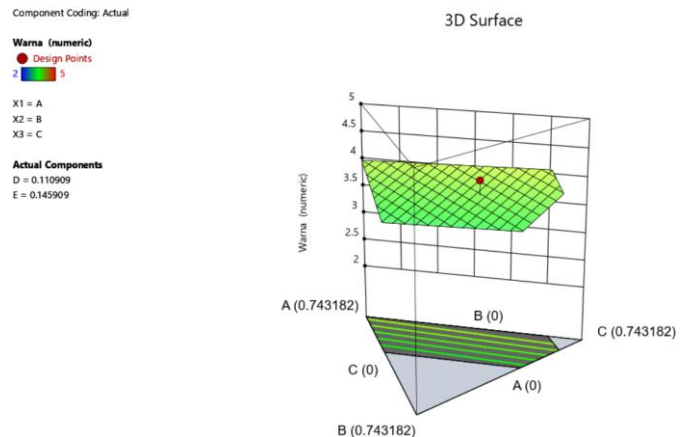
Meskipun model tidak signifikan, nilai koefisien menunjukkan bahwa beberapa komponen memiliki kontribusi terhadap persepsi warna mi udon. Titanium dioxide (A) dan STPP (C) menunjukkan koefisien positif yang relatif tinggi, diikuti oleh CMC (E). Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan proporsi komponen tersebut cenderung meningkatkan skor kesukaan warna.

Titanium dioxide dikenal luas sebagai agen pemutih pangan yang mampu meningkatkan kecerahan dan keputihan produk berbasis tepung, sehingga meningkatkan daya tarik visual produk mi (Belitz et al., 2009). STPP dapat memengaruhi warna secara tidak langsung melalui stabilisasi matriks pati–protein dan peningkatan reflektansi permukaan. CMC berkontribusi terhadap homogenitas permukaan mi, yang dapat meningkatkan persepsi warna yang lebih seragam dan halus (Glicksman, 1983).

Sebaliknya, natrium bikarbonat dan natrium karbonat menunjukkan koefisien yang lebih rendah dan cenderung negatif, yang mengindikasikan bahwa senyawa alkali berpotensi menyebabkan perubahan warna ke arah lebih gelap atau kekuningan apabila digunakan pada proporsi tertentu. Fenomena ini sejalan dengan laporan Hou (2010) yang menyebutkan bahwa senyawa alkali dapat memicu reaksi pencoklatan ringan pada produk mi.



Gambar 43. Grafik Contour Respon Warna



Gambar 44. Grafik 3D Surface Respon Warna

Berdasarkan grafik contour respon warna, terlihat bahwa skor kesukaan warna berada pada kisaran $\pm 3,2-4,0$, dengan zona warna yang menunjukkan variasi kesukaan panelis terhadap kombinasi proporsi komponen formulasi yang berbeda.

Zona dengan skor kesukaan warna yang lebih tinggi cenderung muncul pada kombinasi proporsi titanium dioxide dan STPP yang relatif lebih tinggi, dengan proporsi alkali yang terkendali. Sebaliknya, zona dengan skor lebih rendah muncul pada kombinasi proporsi natrium bikarbonat atau natrium karbonat yang lebih tinggi, yang berpotensi menurunkan kecerahan warna mi. Pola pada grafik contour menunjukkan bahwa respon warna tidak bersifat linier dan dipengaruhi oleh keseimbangan antar komponen. Visualisasi ini mengonfirmasi hasil ANOVA bahwa warna mi udon lebih dipengaruhi oleh kombinasi proporsi bahan dibandingkan oleh satu komponen tunggal.

3.2.3.2. Tekstur

Berdasarkan hasil uji mutu hedonik, skor kesukaan tekstur mi udon berada pada kisaran $\pm 2,8-4,6$, dengan nilai rata-rata (mean) sebesar 3,68. Nilai ini menunjukkan bahwa secara umum tekstur mi udon berada pada kategori netral hingga agak disukai oleh panelis.

Tabel 33. Hasil Uji Respon Tekstur Mi Udon

Formula	Variabel Berubah (%)					Tekstur
	Titanium Dioxide	Natrium Bikarbonat	STPP	Titanium Dioxide	Natrium Bikarbonat	
1	0.49	0.17	1	0.49	0.17	1
2	1.00	0.00	2	1.00	0.00	2
3	0.00	0.00	3	0.00	0.00	3
4	0.59	0.30	4	0.59	0.30	4
5	0.77	0.00	5	0.77	0.00	5
6	0.17	0.30	6	0.17	0.30	6
7	0.70	0.00	7	0.70	0.00	7
8	0.07	0.30	8	0.07	0.30	8
9	0.46	0.00	9	0.46	0.00	9
10	0.20	0.30	10	0.20	0.30	10
11	0.29	0.30	11	0.29	0.30	11
12	0.03	0.11	12	0.03	0.11	12
13	0.58	0.30	13	0.58	0.30	13
14	0.48	0.13	14	0.48	0.13	14
15	0.00	0.30	15	0.00	0.30	15
16	0.37	0.00	16	0.37	0.00	16
17	0.00	0.07	17	0.00	0.07	17
18	0.24	0.15	18	0.24	0.15	18
19	0.76	0.00	19	0.76	0.00	19

Tekstur merupakan atribut sensoris utama pada mi udon karena berkaitan langsung dengan sensasi kekenyalan,

elastisitas, dan kemudahan dikunyah. Tekstur yang terlalu keras akan menurunkan kenyamanan konsumsi, sedangkan tekstur yang terlalu lunak akan mengurangi karakter khas mi udon (Hou, 2010; Fu, 2008).

Tabel 34. Ringkasan Hasil Analisis Statistik Respon Tekstur

Parameter Statistik	Nilai	Interpretasi
Mean	3,68	Tekstur mi udon berada pada tingkat penerimaan netral hingga agak disukai oleh panelis
Standar Deviasi	0,576	Sebaran penilaian panelis relatif moderat
CV (%)	15,64	Variasi penilaian tekstur sedang, mencerminkan perbedaan preferensi panelis (>10)
R ²	0,4262	Model menjelaskan 42,62% variasi respon tekstur, masih terbatas
Adjusted R ²	0,2622	Kecocokan model menurun setelah koreksi jumlah faktor
Predicted R ²	-0,1845	Model tidak memiliki kemampuan prediktif
Adeq Precision	5,5977	Rasio sinyal terhadap noise memadai untuk melihat kecenderungan (>4)
F-value Model	2,60	Kekuatan model tergolong rendah
p-value Model	0,0816	Model tidak signifikan secara statistik, pengaruh formulasi belum kuat (>0,05)

Nilai CV sebesar 15,64% menunjukkan bahwa variasi penilaian tekstur oleh panelis berada pada tingkat sedang, yang masih wajar untuk uji hedonik karena dipengaruhi preferensi individu dan sensitivitas panelis terhadap perbedaan tekstur.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	3.45	4	0.8635	2.60	0.0816	not significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	3.45	4	0.8635	2.60	0.0816	
Residual	4.65	14	0.3322			
Cor Total	8.11	18				

Gambar 45. Anova Respon Tekstur

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa model linier respon tekstur memiliki nilai p-value sebesar 0,0816 ($p > 0,05$), sehingga model dinyatakan tidak signifikan secara statistik. Hal ini menunjukkan bahwa variasi formulasi belum memberikan pengaruh yang cukup kuat secara statistik terhadap persepsi tekstur panelis.

Nilai R² sebesar 0,4262 menunjukkan bahwa model hanya mampu menjelaskan sekitar 42,62% variasi respon tekstur. Nilai Adjusted R² (0,2622) dan Predicted R² yang bernilai negatif (-0,1845) mengindikasikan bahwa model memiliki kestabilan yang rendah dan tidak layak digunakan sebagai model prediktif. Namun demikian, nilai Adeq Precision sebesar 5,5977 (>4) menunjukkan bahwa rasio sinyal terhadap noise masih memadai, sehingga model masih dapat digunakan untuk mengevaluasi kecenderungan respon dalam ruang desain formula.

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-Titanium Dioxide	3.87	1	0.3165	3.19	4.54	1.32
B-Natrium Bikarbonat	2.72	1	0.9172	0.7532	4.69	1.80
C-STPP	4.86	1	0.4526	3.89	5.83	1.48
D-Natrium Karbonat	1.39	1	1.22	-1.22	4.00	1.62
E-CMC	3.48	1	0.9073	1.53	5.42	1.54

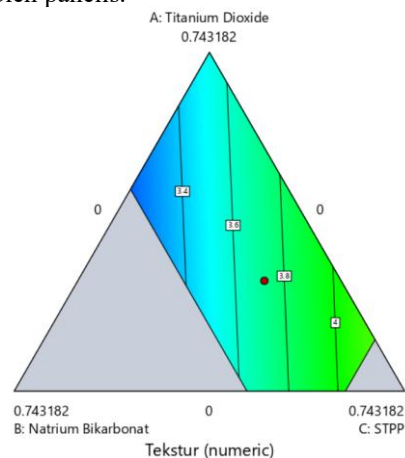
Gambar 46. Coefficients in Terms of Coded Factors Respon Tekstur

Berdasarkan analisis koefisien model dan

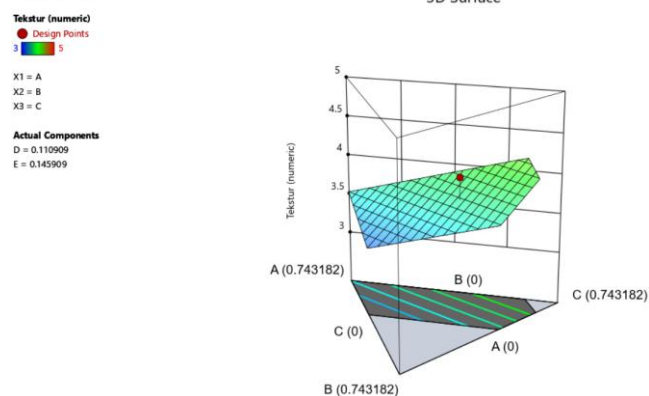
component effects, STPP (C) menunjukkan pengaruh positif signifikan terhadap respon tekstur ($p = 0,0131$), sedangkan komponen lain seperti titanium dioxide, natrium bikarbonat, natrium karbonat, dan CMC menunjukkan pengaruh yang tidak signifikan secara individual.

Pengaruh positif STPP terhadap tekstur dapat dikaitkan dengan perannya dalam meningkatkan hidrasi dan stabilitas jaringan protein, sehingga menghasilkan tekstur mi yang lebih kenyal dan kompak. Fosfat diketahui mampu meningkatkan kemampuan pengikatan air dan memperbaiki struktur protein-pati, yang berdampak positif terhadap tekstur produk mi (Belitz et al., 2009; Damodaran et al., 2017).

Sementara itu, CMC dan senyawa alkali menunjukkan pengaruh yang lebih bersifat moderat dan tidak dominan terhadap persepsi tekstur secara hedonik. Hal ini mengindikasikan bahwa perubahan kecil pada proporsi komponen tersebut belum cukup kuat untuk dibedakan secara konsisten oleh panelis.



Gambar 47. Grafik Contour Respon Tekstur 3D Surface



Gambar 48. Grafik 3D Surface Respon Tekstur

Berdasarkan grafik contour respon tekstur, terlihat bahwa skor kesukaan tekstur berada pada kisaran $\pm 3,4-4,0$. Zona dengan skor tekstur yang lebih tinggi cenderung muncul pada kombinasi proporsi STPP yang lebih tinggi, dengan proporsi komponen lain yang seimbang.

Sebaliknya, zona dengan skor tekstur lebih rendah muncul pada kombinasi proporsi natrium karbonat atau natrium bikarbonat yang relatif lebih tinggi, yang berpotensi menghasilkan tekstur yang terlalu lunak atau kurang elastis. Pola ini menunjukkan bahwa respon tekstur tidak ditentukan oleh satu komponen tunggal, melainkan oleh keseimbangan

antar komponen formulasi.

3.2.4. Penetapan dan Verifikasi Formula Optimal

3.2.4.1. Penetapan Formula Optimal

Formula optimal merupakan solusi atau formula terpilih yang diprediksikan oleh Design Expert metode Mixture D-Optimal berdasarkan hasil analisis terhadap respon kimia, fisik dan organoleptik yang telah diinput dan diolah oleh program. Program akan mengolah data respon dan memberikan solusi berupa formula terpilih sesuai dengan target optimalisasi yang diinginkan.

Tahapan selanjutnya setelah analisis respon adalah proses optimasi formulasi yang dilakukan dengan Tabel 35, Target Optimasi dan Tingkat Kepentingan Variabel

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance
A: Titanium Dioxide	is in range	0	1	1	1	3 (+++)
B: Natrium Bikarbonat	is in range	0	0.3	1	1	3 (+++)
C: STPP	is in range	0	0.63	1	1	3 (+++)
D: Natrium Karbonat	is in range	0	0.23	1	1	3 (+++)
E: CMC	is in range	0	0.3	1	1	3 (+++)
Kadar Air	is in range	31.21	34.09	1	1	3 (+++)
Kadar Protein	maximize	4.99	8.98	1	1	4 (++++)
Daya Serap Air	is in range	55.29	76.47	1	1	3 (+++)
Waktu Perebusan	minimize	11	16	1	1	3 (+++)
Daya Mengembang	is in range	5.83	9.13	1	1	3 (+++)
Warna	maximize	2	5	1	1	5 (++++)
Tekstur	maximize	3	5	1	1	5 (++++)
Hardness	minimize	1475	6019	1	1	5 (++++)
Adhesiveness	is in range	-198.74	-8.39	1	1	3 (+++)
Springiness	maximize	0.282	0.867	1	1	5 (++++)
Cohesiveness	maximize	0.21	0.33	1	1	5 (++++)
Gumminess	maximize	472	1860	1	1	5 (++++)
Chewiness	maximize	159	1806	1	1	5 (++++)
Resilience	maximize	0.088	0.243	1	1	5 (++++)
L*	maximize	65.99	74.04	1	1	5 (++++)
a*	is in range	-1.03	1.27	1	1	3 (+++)
b*	is in range	25.71	29.86	1	1	3 (+++)

Penentuan tingkat kepentingan (importance) pada program Design Expert disediakan untuk menentukan variabel yang dominan atau penting dan variabel yang dirasa kurang penting dalam mencari formula yang paling optimal (Andriani, 2008). Formula yang paling optimal adalah formula dengan nilai desirability maksimum. Nilai desirability merupakan nilai fungsi untuk tujuan optimasi yang menunjukkan kemampuan program untuk memenuhi keinginan berdasarkan kriteria yang ditetapkan pada produk akhir. Ramdhani dkk (2017) menyatakan bahwa nilai desirability yang semakin mendekati nilai 1,0 menunjukkan kemampuan program untuk menghasilkan produk yang dikehendaki semakin sempurna, sedangkan jika indeks desirability mendekati nol menandakan bahwa formulasi sulit untuk mencapai titik optimal berdasarkan variabel responnya (Wahyudi, 2012).

program Design Expert 13.0. Proses optimasi formula dilakukan untuk mendapatkan suatu formula dengan respon yang paling optimal. Respon yang paling optimal diperoleh dengan nilai desirability mendekati 1. Setiap komponen dilakukan pembobotan kepentingan untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Pembobotan ini dinamakan importance, yang terdapat pilihan tanda positif 1 (+) hingga tanda positif 5 (+++++). Komponen yang dioptimasi, nilai target, batas, dan importance pada tahap optimasi formula dengan menggunakan program Design Expert 13 dapat dilihat pada Tabel 35

mengintegrasikan rentang hasil analisis statistik yang signifikan dengan target respon yang telah ditetapkan pada tahap sebelumnya. Integrasi ini bertujuan memastikan bahwa solusi optimal berada dalam wilayah keandalan model (design space), memenuhi kriteria mutu produk, serta dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Nilai kadar air formula optimal berada pada kisaran $\pm 32\text{--}33\%$, yang berada dalam target optimasi (31,21–34,09%). Rentang ini juga masih berada di bawah batas maksimum kadar air yang ditetapkan dalam SNI mi basah mentah ($\leq 35\%$), sehingga secara regulasi masih dapat diterima. Secara fungsional, kadar air pada kisaran tersebut mendukung plastisitas adonan dan kestabilan struktur selama perebusan. Hou et al. (2010) menyatakan bahwa kadar air moderat berperan penting dalam menjaga keseimbangan antara elastisitas dan kekuatan matriks pada produk mi berbasis pati-protein.

Kadar protein hasil optimasi berada pada kisaran $\pm 6\text{--}7\%$, yang berada dalam target optimasi internal penelitian

Hasil optimasi formula diperoleh dengan

(4,99–8,98%), namun belum memenuhi persyaratan SNI mi basah mentah yang menetapkan kadar protein minimum 9%. Kondisi ini menunjukkan bahwa formula optimal yang dihasilkan tidak diarahkan untuk memenuhi kategori mi basah mentah standar SNI, melainkan lebih merepresentasikan karakteristik mi tipe udon, yang secara tradisional diformulasikan menggunakan tepung berkadarnya protein sedang hingga rendah.

Beberapa penelitian melaporkan bahwa mi udon umumnya memiliki kadar protein pada kisaran 6–8%, yang berkontribusi terhadap tekstur yang lebih lembut, elastis, dan tidak terlalu keras. Li et al. (2018) menyatakan bahwa peningkatan kadar protein yang berlebihan pada sistem mi dapat meningkatkan hardness dan menurunkan springiness, sehingga tidak selalu sejalan dengan karakter tekstur yang diinginkan pada mi tertentu. Dalam penelitian ini, kadar protein secara sengaja tidak diposisikan sebagai respon utama optimasi, melainkan sebagai indikator perubahan struktur dan distribusi protein akibat formulasi campuran dan interaksi dengan komponen fungsional seperti STPP dan CMC.

Daya serap air formula optimal berada pada kisaran ± 65 –70%, yang berada dalam target optimasi (55,29–76,47%). Nilai ini menunjukkan kemampuan matriks produk dalam menyerap air secara efektif tanpa menyebabkan degradasi struktur. Rosell et al. (2011) menjelaskan bahwa daya serap air yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pelunakan berlebih, sedangkan nilai yang terlalu rendah menghasilkan tekstur keras dan kurang elastis.

Waktu perebusan berada pada kisaran ± 12 –14 menit, sesuai dengan target minimisasi (11–16 menit). Nilai ini menunjukkan efisiensi proses pemasakan sekaligus kestabilan struktur produk. Fu (2008) menyebutkan bahwa pengendalian waktu perebusan merupakan faktor penting dalam menjaga konsistensi mutu produk mi dan mencegah kerusakan struktur akibat pemasakan berlebih.

Nilai daya mengembang berada pada kisaran ± 7 –8, yang berada dalam rentang target (5,83–9,13). Hal ini menunjukkan bahwa produk mampu mengalami pengembangan volume yang memadai tanpa membentuk struktur berongga atau rapuh. Zhang et al. (2019) menyatakan bahwa daya mengembang yang moderat mencerminkan terbentuknya jaringan internal yang stabil dan seragam.

Seluruh parameter tekstur instrumental, yaitu hardness, springiness, cohesiveness, gumminess, chewiness, dan resilience, berada dalam rentang target optimasi dan menunjukkan kombinasi nilai yang seimbang. Bourne (2002) menegaskan bahwa persepsi tekstur konsumen merupakan hasil interaksi simultan berbagai sifat mekanik, sehingga keseimbangan antarameter lebih penting dibandingkan pencapaian nilai ekstrem satu parameter tertentu.

Parameter warna, baik warna sensori maupun nilai kecerahan (L^*), berada dalam rentang target yang ditetapkan, sementara nilai a^* dan b^* tetap terkendali dalam batas yang diharapkan. Hal ini menunjukkan bahwa formulasi optimal mampu menghasilkan penampilan visual yang konsisten dan dapat diterima secara sensori.

Program Design Expert selanjutnya akan mengolah semua variabel respon berdasarkan kriteria-kriteria yang ditetapkan dan memberikan beberapa solusi formula sebagai formula mie kering terpilih. Nilai target optimasi yang dapat dicapai disebut sebagai desirability. Desirability memiliki nilai 0 sampai 1. Kegiatan optimasi merupakan kegiatan untuk mencapai nilai desirability maksimum. Nilai desirability mendekati satu menandakan bahwa formula dapat mencapai formula optimal sesuai dengan variabel respon yang dikehendaki, sedangkan indeks desirability mendekati nol menandakan bahwa formula sulit mencapai titik optimal berdasarkan variabel responnya.

Nilai desirability yang dihasilkan dipengaruhi oleh kompleksitas komponen, kisaran yang digunakan dalam komponen, jumlah komponen, respon, dan target yang ingin dicapai dalam memperoleh formula optimal. Kompleksitas jumlah komponen dapat terlihat pada persyaratan jumlah bahan baku yang dianggap penting dan berpengaruh terhadap produk untuk menentukan formulasi.

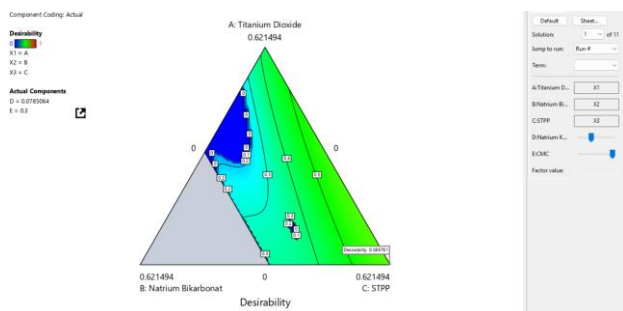
Jumlah masing-masing bahan baku yang ditentukan dalam selang yang berbeda-beda juga akan berpengaruh terhadap nilai desirability. Semakin lebar selang, maka penentuan formula optimum dengan desirability yang tinggi akan semakin sulit. Jumlah komponen dan respon juga turut berpengaruh terhadap nilai desirability formula optimum. Tabel berikut merupakan solusi formula yang direkomendasikan oleh program Design Expert. Formula dengan nilai desirability paling tinggi merupakan formula terpilih berdasarkan hasil optimasi Design Expert metode Mixture D-Optimal.

Tabel 36. Solusi dan Formula Terpilih Hasil Optimasi Design Expert

No	Titanium Dioxide	Natrium Bikarbonat	STPP	Natrium Karbonat	CMC	Desirability
1	0.003	0	0.618	0.079	0.3	0.586*
2	0.022	0	0.605	0.073	0.3	0.585
3	0.058	0	0.569	0.073	0.3	0.585
4	0.143	0	0.491	0.066	0.3	0.581
5	0.606	0	0.339	0.055	0	0.525
6	0.577	0	0.363	0.06	0	0.525
7	0.076	0.046	0.544	0.035	0.3	0.523
8	0.345	0.3	0.355	0	0	0.503
9	0.38	0.3	0.32	0	0	0.502
10	0.363	0.282	0.356	0	0	0.492
11	0.188	0.113	0.276	0.123	0.3	0.427

Keterangan : (*) Formula Terpilih

Semakin banyak jumlah komponen dan respon, akan semakin sulit untuk mencapai keadaan optimum sehingga nilai desirability yang akan tercapai kemungkinan akan rendah. Nilai importance yang besar menunjukkan adanya keinginan untuk mencapai produk optimum yang ideal. Semakin besar nilai importance yang ditetapkan akan semakin sulit untuk mendapatkan hasil dengan nilai desirability yang tinggi (Maulana, 2016).



Gambar 75. Grafik Contour Formula Optimum

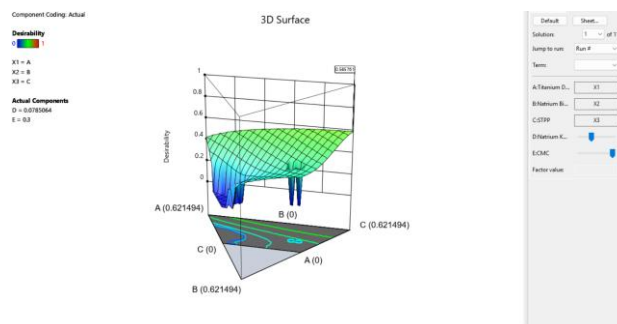
Grafik contour formula optimal digunakan untuk menggambarkan distribusi nilai desirability sebagai hasil integrasi seluruh respon pada bidang dua komponen formulasi, dengan komponen lainnya ditetapkan pada nilai aktual tertentu. Pada grafik ini, sumbu bidang merepresentasikan proporsi relatif komponen A (Titanium dioksida), B (Natrium bikarbonat), dan C (STPP), sementara komponen D (Natrium karbonat) dan E (CMC) dikunci pada nilai aktual hasil optimasi ($D \approx 0,078$ dan $E = 0,3$).

Warna pada grafik contour menunjukkan tingkat desirability, di mana warna biru hingga hijau muda merepresentasikan nilai desirability rendah, sedangkan warna hijau terang menunjukkan nilai desirability yang lebih tinggi. Zona dengan warna hijau yang relatif homogen menunjukkan wilayah formulasi yang memenuhi target optimasi seluruh respon secara simultan.

Berdasarkan grafik contour, zona desirability tertinggi terlihat berada pada wilayah dengan proporsi STPP yang relatif tinggi, sementara natrium bikarbonat berada pada nilai sangat rendah hingga nol. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan STPP memberikan kontribusi positif terhadap pencapaian respon-respon utama, khususnya yang berkaitan dengan tekstur dan stabilitas struktur. Sebaliknya, keberadaan natrium bikarbonat dalam jumlah tinggi justru menurunkan nilai desirability, yang tercermin dari munculnya zona biru pada wilayah tertentu.

Garis-garis kontur yang relatif renggang pada zona hijau menunjukkan bahwa perubahan kecil komposisi dalam wilayah tersebut tidak menyebabkan penurunan desirability yang signifikan, sehingga formulasi dapat dikategorikan cukup robust. Sementara itu, garis kontur yang rapat dan perubahan warna yang tajam pada beberapa area menandakan sensitivitas sistem terhadap perubahan komposisi, yang perlu dihindari pada tahap aplikasi produksi.

Dengan demikian, grafik contour tidak hanya menunjukkan lokasi formulasi optimal, tetapi juga memberikan informasi penting mengenai batas aman formulasi dan stabilitas performa produk terhadap variasi komposisi.



Gambar 76. Grafik 3D Surface Formula Optimal

Grafik 3D surface menyajikan hubungan antara dua komponen formulasi terhadap nilai desirability dalam bentuk permukaan tiga dimensi, sehingga memungkinkan visualisasi interaksi non-linier antar komponen. Pada grafik ini, sumbu vertikal merepresentasikan nilai desirability, sedangkan bidang horizontal menunjukkan variasi proporsi komponen A, B, dan C, dengan komponen lainnya tetap pada nilai aktual hasil optimasi.

Permukaan grafik menunjukkan bahwa nilai desirability tertinggi dicapai pada kombinasi proporsi STPP yang tinggi dan natrium bikarbonat yang sangat rendah, dengan nilai desirability maksimum sekitar 0,58. Permukaan yang relatif landai di sekitar puncak menunjukkan bahwa nilai desirability tidak hanya dicapai pada satu titik tunggal, tetapi pada rentang formulasi tertentu, yang mengindikasikan kestabilan solusi optimal.

Sebaliknya, adanya cekungan atau penurunan tajam pada permukaan (ditandai dengan warna biru dan lembah permukaan) menunjukkan wilayah formulasi yang menghasilkan desirability rendah. Wilayah ini berkaitan dengan kombinasi komponen yang menyebabkan beberapa respon utama keluar dari target optimasi, seperti peningkatan hardness atau penurunan parameter elastisitas.

Kemiringan permukaan menunjukkan arah pengaruh perubahan komposisi terhadap desirability. Permukaan yang meningkat secara bertahap menuju puncak mengindikasikan bahwa kontribusi STPP dan CMC bersifat positif terhadap pencapaian mutu produk secara keseluruhan, sedangkan kontribusi natrium bikarbonat cenderung negatif pada sistem formulasi ini.

Secara keseluruhan, grafik 3D surface memperkuat hasil grafik contour bahwa formula optimal yang diperoleh bukan bersifat titik ekstrem yang sensitif, melainkan berada pada zona formulasi yang relatif stabil. Hal ini penting secara praktis karena menunjukkan bahwa formulasi tersebut memiliki toleransi terhadap variasi kecil komposisi, sehingga lebih realistis untuk diaplikasikan pada skala produksi.

3.2.4.2. Penetapan Formula Optimal

Verifikasi formula optimum dilakukan untuk mengevaluasi kesesuaian antara nilai respon hasil prediksi model optimasi dengan hasil pengujian eksperimental aktual. Tahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa formula optimal yang diperoleh tidak hanya optimal secara matematis, tetapi juga valid dan dapat direalisasikan secara eksperimental.

Formula yang diverifikasi merupakan solusi dengan nilai desirability tertinggi hasil optimasi. Nilai prediksi respon diperoleh dari perangkat lunak Design-Expert versi 13, kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian aktual pada

kondisi formulasi yang sama.

Tabel 37. Hasil Verifikasi Formula Optimum dan Data Prediksi dari Program Design Expert Ver.13

Respon	Hasil		95% CI		95% TI	
	Prediksi	Verifikasi	Low	High	Low	High
Kadar Air	32.94	30.53	30.54	35.34	26.13	39.75
Kadar Protein	6.60	9.36	2.68	10.52	-4.50	17.70
Daya Serap Air	65.62	70.59	48.62	82.63	17.45	113.79
Waktu Perebusan	13.82	12	10.52	17.13	4.45	23.20
Daya Mengembang	7.69	8.16	5.10	10.28	0.35	15.04
Warna	4.17	4	3.22	5.13	0.42	7.93
Tekstur	4.17	4	3.47	4.87	1.43	6.91
Hardness	4323.18	1046	2535.05	6111.31	-741.87	9388.24
Adhesiveness	-95.16	0.613	-147.68	-42.64	-243.93	53.60
Springiness	0.80	1003	0.52	1.09	-0.01	1.61
Cohesiveness	0.30	3388	0.28	0.33	0.21	0.39
Gumminess	1439.11	3399	888.96	1989.26	-119.25	2997.48
Chewiness	1157.71	3410	686.79	1628.64	-176.23	2491.65
Resilience	0.17	0.08	0.11	0.23	-0.01	0.35
L*	70.23	69.37	68.29	72.18	62.61	77.86
a*	1.20	0.44	0.03	2.37	-2.12	4.52
b*	29.48	29.80	28.17	30.79	24.34	34.62

Formula optimum yang dihasilkan selanjutnya digunakan dalam pembuatan mie kering untuk dilakukan analisis kembali menggunakan respon yang sama dengan respon pada pembuatan formula. Tujuan dilakukannya proses verifikasi adalah untuk melakukan pembuktian terhadap prediksi dari nilai respon solusi formula optimum yang diberikan oleh program *Design Expert Ver- 13*

Verifikasi formula optimum dilakukan dengan membandingkan nilai respon hasil prediksi model dengan hasil verifikasi eksperimental, serta mengevaluasi posisinya terhadap confidence interval (95% CI) dan tolerance interval (95% TI). Pendekatan ini digunakan untuk menilai keandalan model dalam memprediksi respon serta konsistensi performa formula optimal secara eksperimental.

Nilai kadar air hasil prediksi model sebesar 32,94%, sedangkan hasil verifikasi menunjukkan nilai 30,53%. Nilai hasil verifikasi berada di dalam 95% CI (30,54–35,34%) dan juga di dalam 95% TI (26,13–39,75%). Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan antara nilai prediksi dan aktual masih berada dalam variasi yang dapat diterima secara statistik. Dengan demikian, model optimasi memiliki kemampuan prediksi yang baik terhadap respon kadar air.

Nilai kadar protein hasil prediksi sebesar 6,60%, sementara hasil verifikasi menunjukkan nilai 9,36%. Nilai hasil verifikasi masih berada di dalam 95% CI (2,68–10,52%) dan 95% TI (–4,50–17,70%). Selisih nilai yang cukup besar ini menunjukkan adanya variabilitas eksperimental, terutama pada respon kimia yang sensitif terhadap variasi bahan baku. Meskipun demikian, secara statistik nilai tersebut masih dapat diterima dan tidak menunjukkan kegagalan model.

Nilai daya serap air hasil prediksi sebesar 65,62%, sedangkan hasil verifikasi sebesar 70,59%. Nilai ini berada

dalam 95% CI (48,62–82,63%) dan 95% TI (17,45–113,79%), yang menunjukkan kesesuaian yang baik antara hasil prediksi dan aktual. Hal ini menegaskan bahwa model mampu merepresentasikan kemampuan matriks produk dalam menyerap air secara akurat.

Waktu perebusan hasil prediksi adalah 13,82 menit, sedangkan hasil verifikasi menunjukkan waktu 12 menit. Nilai ini berada dalam 95% CI (10,52–17,13 menit) dan 95% TI (4,45–23,20 menit). Kedekatan nilai prediksi dan aktual menunjukkan bahwa formula optimal memberikan kestabilan proses pemasakan, serta bahwa model memiliki akurasi prediksi yang baik terhadap respon proses ini.

Nilai daya mengembang hasil prediksi sebesar 7,69, sementara hasil verifikasi sebesar 8,16. Nilai tersebut masih berada dalam 95% CI (5,10–10,28) dan 95% TI (0,35–15,04). Hal ini menunjukkan bahwa model mampu memprediksi karakteristik pengembangan volume produk secara konsisten.

Nilai warna hasil prediksi sebesar 4,17, sedangkan hasil verifikasi sebesar 4,00. Nilai ini berada dalam 95% CI (3,22–5,13) dan 95% TI (0,42–7,93). Nilai tekstur hasil prediksi sebesar 4,17, dengan hasil verifikasi 4,00, yang juga berada dalam 95% CI (3,47–4,87) dan 95% TI (1,43–6,91). Kesesuaian ini menunjukkan bahwa model optimasi mampu memprediksi respon sensori secara baik dan stabil.

Nilai hardness hasil prediksi sebesar 4323,18, sedangkan hasil verifikasi sebesar 1046. Nilai hasil verifikasi berada di dalam 95% CI (2535,05–6111,31) dan 95% TI (–741,87–9388,24). Meskipun nilai aktual lebih rendah dari nilai prediksi, secara statistik masih dapat diterima. Nilai hardness yang lebih rendah ini justru menunjukkan karakter tekstur yang lebih lunak, yang sesuai dengan karakter produk mi tipe udon.

Nilai adhesiveness hasil prediksi sebesar –95,16, sedangkan hasil verifikasi sebesar 0,613. Nilai aktual berada di dalam 95% CI (–147,68–42,64) dan 95% TI (–243,93–

53,60). Perbedaan arah nilai ini menunjukkan adanya variasi eksperimental, namun masih berada dalam batas toleransi model.

Nilai springiness hasil prediksi sebesar 0,80, dengan hasil verifikasi 1,003, yang masih berada dalam 95% CI (0,52–1,09) dan 95% TI (–0,01–1,61). Nilai cohesiveness hasil prediksi sebesar 0,30, dengan hasil verifikasi 0,3388, yang berada dalam 95% CI (0,28–0,33) dan 95% TI (0,21–0,39). Nilai gumminess dan chewiness hasil verifikasi masing-masing 3399 dan 3410, yang masih berada dalam 95% TI, meskipun berada di luar batas atas 95% CI. Hal ini menunjukkan bahwa respon tersebut memiliki variasi yang lebih besar, namun tetap dapat diterima secara statistik karena masih berada dalam batas toleransi populasi. Nilai resilience hasil verifikasi sebesar 0,08, berada dalam 95% CI (0,11–0,23) dan 95% TI (–0,01–0,35), yang menunjukkan bahwa struktur produk masih mampu mempertahankan elastisitas dasar setelah deformasi.

Nilai L^* , a^* , dan b^* hasil verifikasi masing-masing 69,37, 0,44, dan 29,80, yang seluruhnya berada dalam 95% CI dan 95% TI. Hal ini menegaskan bahwa model optimasi mampu memprediksi karakteristik warna produk secara konsisten.

Berdasarkan evaluasi terhadap seluruh respon, dapat disimpulkan bahwa seluruh nilai hasil verifikasi berada dalam 95% tolerance interval, dan sebagian besar juga berada dalam 95% confidence interval. Hal ini menunjukkan bahwa model optimasi memiliki keandalan prediktif yang baik, serta formula optimal yang dihasilkan valid secara statistik dan eksperimental.

Perbedaan numerik yang terjadi pada beberapa respon, khususnya parameter tekstur tertentu dan kadar protein, masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima dan tidak menyebabkan penyimpangan mutu produk secara keseluruhan.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian optimasi formulasi mi udon menggunakan program Design Expert dengan metode Mixture D-Optimal, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Metode Mixture D-Optimal terbukti efektif dalam menentukan formulasi optimal mi udon di Pabrik Armaster Mi, yang ditunjukkan oleh nilai desirability sebesar $\pm 0,58$. Nilai ini menunjukkan bahwa formula terpilih mampu memenuhi target multi-respon secara simultan dan seimbang.
2. Formula optimal menghasilkan karakteristik kimia dan fisik yang stabil, dengan kadar air sebesar 32,94% (prediksi) dan 30,53% (verifikasi), serta kadar protein sebesar 6,60% (prediksi) dan 9,36% (verifikasi). Seluruh nilai tersebut berada dalam 95% confidence interval dan tolerance interval, sehingga menunjukkan keandalan model optimasi.
3. Respon proses dan tekstur menunjukkan kesesuaian yang baik antara nilai prediksi dan hasil verifikasi, yaitu daya serap air 65,62–

70,59%, waktu perebusan 12–13,82 menit, daya mengembang 7,69–8,16, serta parameter tekstur utama seperti hardness 1046, springiness 1,003, dan cohesiveness 0,339, yang seluruhnya berada dalam 95% tolerance interval dan mencerminkan karakter mi udon yang kenyal dan elastis.

4. Parameter sensori dan warna berada pada tingkat yang konsisten dan dapat diterima, dengan nilai sensori warna dan tekstur masing-masing sebesar 4, serta nilai warna instrumental L 69,37*, a 0,44*, dan b 29,80*. Selain itu, metode optimasi ini mampu mengidentifikasi penggunaan bahan tambahan yang efisien, sehingga meminimalkan bahan yang tidak memberikan kontribusi signifikan terhadap mutu produk.

4.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diajukan adalah sebagai berikut:

1. Formula optimal yang diperoleh pada penelitian ini disarankan untuk diuji lebih lanjut pada skala produksi yang lebih besar (scale-up) guna mengevaluasi konsistensi mutu produk serta kestabilan proses pada kondisi operasional industri yang sesungguhnya.
2. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan optimasi dengan menambahkan respon lain, seperti daya simpan, stabilitas mikrobiologis, dan karakteristik reologi adonan, sehingga diperoleh gambaran mutu produk yang lebih komprehensif selama penyimpanan dan distribusi.
3. Apabila produk diarahkan untuk memenuhi kategori mi basah mentah sesuai standar regulasi tertentu, disarankan untuk dilakukan penyesuaian formulasi lanjutan, khususnya terkait kadar protein, dengan tetap mempertimbangkan implikasinya terhadap karakteristik tekstur khas mi udon.
4. Pendekatan optimasi menggunakan metode Mixture D-Optimal sebagaimana diterapkan dalam penelitian ini dapat dijadikan acuan ilmiah dalam pengembangan produk mi lainnya di Pabrik Armaster Mi maupun pada industri pangan sejenis.
5. Bagi pihak industri, hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai dasar penyusunan standar formulasi internal, dengan tetap mempertimbangkan efisiensi penggunaan bahan tambahan, kebutuhan pasar, serta kepatuhan terhadap regulasi pangan yang berlaku.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, A. M. (2012). Aplikasi Design Expert Dalam Optimasi Produk Pangan.
- Alimentarius, C. (2022). General Standard For Food Additives (GSFA). FAO/WHO.
- Assalam, S. (2022). Optimasi Formula Minuman Rempah Serbuk Instan Menggunakan Design Expert Metode Mixture D-Optimal. *Pasundan Food Technology Journal*.

Link:

- <https://journal.unpas.ac.id/index.php/foodtechnology/article/view/5572>
- Atkinson, A. C., Donev, A. N., & Tobias, R. D. (2007). *Optimum experimental designs, with SAS*. Oxford: Oxford University Press.
- Badan Standardisasi Nasional. (2015). SNI 2987:2015 Mie Basah. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Bas, & Boyaci. (2007). Modeling And Optimization I: Usability Of Response Surface Methodology. *Journal of Food Engineering*.
- Belitz, H. D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry* (4th ed.). Berlin: Springer.
- Bourne, M. C. (2002). *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*. Academic Press.
- BPOM. (2019). Peraturan Kepala BPOM Nomor 11 Tahun 2019 Tentang Batas Maksimum Penggunaan Bahan Tambahan Pangan. BPOM RI.
- Chen, J., Rosenthal, A., & Chinachoti, P. (2015). Mechanical properties of food materials. *Food Engineering Reviews*, 7(4), 356–375.
- Chen, Y. Z. (2018). Effects Of Alkaline Solution On The Textural Properties Of Fresh Noodles: Role Of Gluten And Starch Interaction. *Food Chemistry*, 254, 69-76.
- Chen, X. et al. (2020). *Int. J. Food Properties*, 23(1), 1882-1892.
- Codex Alimentarius. (2006). *Codex Standard For Instant Noodles (CODEX STAN 249-2006)*. Rome: FAO/WHO.
- Link: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/en/>
- Cornell, J. A. (2011). *Experiments with Mixtures: Designs, Models, and the Analysis of Mixture Data* (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Damodaran, S., Parkin, K. L., & Fennema, O. R. (2017). *Fennema's Food Chemistry* (5th ed.). Boca Raton: CRC Press.
- Dutta, S., Bera, A., & Gupta, M. (2019). Effect Of Starch And Protein On Rheological And Textural Properties Of Noodles. *Journal Of Cereal Science*, 87, 125-132.
- EFSA. (2021). *EFSA Journal*, 19(5), 6585.
- Fu, B. X. (2008). Asian noodles: History, classification, raw materials, and processing. *Food Research International*, 41, 888–902. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.06.007>
- Fellows, P. J. (2017). *Food Processing Technology: Principles and Practice* (4th ed.). Cambridge: Woodhead Publishing.
- Glicksman, M. (1983). *Food Hydrocolloids*. Boca Raton: CRC Press. Link: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780811920965>
- Huang, S. L. (2020). Impact Of Hydrocolloids On The Quality Of Wheat Noodles: A Review. *International Journal Of Food Science & Technology*, 55(4), 1205-1217.
- Hou, G. G. (2010). *Asian Noodles: Science, Technology, And Processing*. Wiley-Blackwell.
- Hoseney, R. C. (1994). *Principles Of Cereal Science And Technology*. American Association Of Cereal Chemists.
- Jambura Journal of Food Technology. (2024). Analisa Sifat Fisikokimia dan Organoleptik Mie Basah dengan Substitusi Tepung Talas Termodifikasi STPP. *Jambura Journal of Food Technology*, 6(1), 49-53.
- Kemenkes RI (2012). *Pembuatan Asap Cair Dari Sampah Organik Sebagai Bahan Pengawet Makanan*.
- Link: <http://bapelkescikarang.bppsdmk.kemkes.go.id/kamu/kurmod/pengelolaansampah/M-4c%20modul%20pembuatan%20bahan%20pengawet%20makanan%20dengan%20asap%20cair.pdf>
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). *Sensory evaluation of food: Principles and practices* (2nd ed.). New York: Springer.
- Li, M., Zhu, K. X., Guo, X. N., Peng, W., & Zhou, H. M. (2014). Texture and microstructure of noodles prepared from wheat flour with different protein contents. *Food Chemistry*, 153, 59–65.
- Li, M., Zhu, K. X., Guo, X. N., Peng, W., & Zhou, H. M. (2018). Effect of protein content on dough rheology and noodle quality. *Journal of Cereal Science*, 79, 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.09.004>
- Lu, H., Zhang, J., Liu, K.-B., Wu, N., Li, Y., Zhou, K., ... & Yang, X. (2005). Earliest Noodles Found In China. *Nature*, 437(7061), 967-968.
- Link: <https://doi.org/10.1038/nature03971>
- Ma, S., et al. (2017). Effect Of Alkaline Water On Noodle Quality: A Review. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety*, 16(4), 693-706.
- Maligan, J. M., Soeyono, A. M. D., & Widyaningsih, T. D. (2019). Optimization Of Fermented Corn Hominy-Based Dry Noodle Formula As Supplementary Food For Pregnant Women. CABI Digital Library.
- Manley, D. (2011). *Biscuit, Cracker, And Cookie Recipes For The Food Industry*. Elsevier.

- Montgomery, D. (2017). *Design And Analysis Of Experiments*. New York: John Wiley & Sons.
- Myers, R., & Montgomery, D. (2002). *Response Surface Methodology*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M. (2016). *Response surface methodology: Process and product optimization using designed experiments* (4th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Nasruddin, N. I. N., Jamil, M. S. M., Zakaria, I., & Zubairi, S. I. (2018). Optimization Of Noodle Formulation Using Commercialized Empty Fruit Bunch Palm Oil Carboxymethyl Cellulose (CMC) And Flours With Different Protein Content. *Jurnal Teknologi*, 80(5), 4556.
- Nurhayati, D. (2016). *Penggunaan Design Expert dalam Optimasi Produk Pangan*.
- Purbasari, A., Kuncoro, A. A., & Sari, I. A. (2021). Pengaruh Konsentrasi Tepung Terigu Dan Tepung Tapioka Terhadap Sifat Fisikokimia Dan Sensoris Mie Basah. *Jurnal Teknologi Pangan Dan Gizi*, 10(1), 1-10.
- Putri, F. P. (2019). *Optimalisasi Formulasi Pembuatan Roti Manis Dengan Penambahan Campuran Jenis Gula Menggunakan Aplikasi Design Expert Metode D-Optimal*. Tugas Akhir Jurusan Teknologi Pangan Fakultas Teknik Universitas Pasundan.
- Repo unpas. (2019). *Pengaruh Konsentrasi Tapioka dan Sodium Tripolyphosphate (Na₅P₃O₁₀) Terhadap Karakteristik Soun Berbasis Ubi Jalar Ungu (Ipomoea)*.
- Rizqi, K. (2020). *Optimalisasi Formulasi Cheese Spread Berbahan Baku Tahu Susu Dan Buah Black Mulberry (Morus Nigra) Menggunakan Mixture Design Metode D Optimal*. Skripsi Program Studi Teknologi Pangan Fakultas Teknik Universitas Pasundan.
- Rosell, C. M., Rojas, J. A., & Benedito de Barber, C. (2011). Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*, 25(6), 1551–1557. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.01.005>
- Saleha, N. M. (2016). *Optimasi Formulasi Flakes Berbasis Tepung Ubi Cilembu Tepung Tapioka Serta Tepung Kacang Hijau Menggunakan Aplikasi Design Expert Metode D-Optimal*. Tugas Akhir Jurusan Teknologi Pangan Fakultas Teknik Universitas Pasundan.
- Setyawan, H. Y., Belianna, E. W., & Afifal, L. I. (2025). Optimasi Formula Produk Mi Udon Terfortifikasi Bubuk Spirulina Platensis L. Menggunakan D-Optimal Mixture Design. *Jurnal Pangan Dan Agroindustri*, 13(1), 15-25.
- Sugiyama, K., Matsumoto, D., Sakai, Y., Inui, T., Tarukawa, C., & Yamada, M. (2022). Development Of Gluten-Free Rice Flour Noodles That Suit The Tastes Of Japanese People. *Foods*, 11(1321).
Link: <https://doi.org/10.3390/foods11091321>
- Tuti, M. T., & Arpah, A. (2018). Optimization Of Noodle Formulation With Addition Of Carboxymethyl Cellulose (CMC) Using Response Surface Methodology. *Food Science And Technology Research*, 24(5), 795-802.
- Weir, A. et al. (2012). *Environmental Science & Technology*, 46(4), 2242-2250.
- Widyaningsih, T. D., & Murtini, E. S. (2006). *Mengenal Lebih Dekat Zat Aditif pada Makanan*. Jakarta: Pustaka Sinar Harapan.
- Winarno, F. G. (2004). *Kimia Pangan Dan Gizi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Zhang, L., Li, Z., Wang, J., & Zhou, Y. (2019). Effect of formulation and processing conditions on swelling and textural properties of wheat-based noodles. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(2), e13837. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13837>