

**OPTIMASI KARAKTER RASA SPECIALTY COFFEE MANUAL
BREW DENGAN PENAMBAHAN MAGNESIUM SULFAT DAN
KALSIUM KLORIDA MENGGUNAKAN RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY (RSM) DENGAN CENTRAL COMPOSITE
DESIGN (CCD)**

TUGAS AKHIR

**Karya Tulis sebagai Salah Satu Syarat untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik dari
Universitas Pasundan**

Oleh

**Muhamad Arief Sakti Putra Saesty
22.30.20.059**



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

ABSTRAK

OPTIMASI KARAKTER RASA SPECIALTY COFFEE MANUAL BREW DENGAN PENAMBAHAN MAGNESIUM SULFAT DAN KALSIUM KLORIDA MENGGUNAKAN RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM) DENGAN CENTRAL COMPOSITE DESIGN (CCD)

Oleh
MUHAMAD ARIEF SAKTI PUTRA SAESTY
NPM: 223020059
(Program Studi Teknologi Pangan)

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan mengoptimasi pengaruh penambahan mineral Magnesium Sulfat (MgSO_4) dan Kalsium Klorida (CaCl_2) dalam air seduhan terhadap profil sensorik serta karakteristik fisikokimia *specialty coffee manual brew*. Penelitian ini difokuskan untuk memetakan interaksi antar ion mineral secara kuantitatif, membangun model prediktif, dan menentukan formulasi air seduhan optimal yang dapat meningkatkan mutu serta konsistensi seduhan kopi Arabika Bourbon Jawa Preanger proses *natural*.

Metode penelitian yang digunakan adalah *Response Surface Methodology* (RSM) dengan rancangan *Central Composite Design* (CCD). Kombinasi variabel bebas terdiri dari rentang konsentrasi MgSO_4 (30-136ppm) dan CaCl_2 (30-136ppm) dengan 13 *run* percobaan. Variabel respon meliputi parameter fisikokimia (pH dan *Total Dissolved Solids*) serta atribut organoleptik melalui uji deskriptif oleh panelis terlatih. Data dianalisis menggunakan perangkat lunak Design-Expert untuk menghasilkan model regresi polinomial, analisis varians (ANOVA), dan optimasi numerik berbasis fungsi *desirability*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa suplementasi mineral berpengaruh signifikan ($p < 0,05$) terhadap nilai fisikokimia dan mayoritas atribut sensorik. Ion magnesium terbukti meningkatkan keasaman (*acidity*) dan karakter *fruity*, sedangkan ion kalsium mempertebal *body* dan *mouthfeel*. Formulasi air seduhan paling optimal diperoleh pada konsentrasi MgSO_4 112,39 ppm dan CaCl_2 120 ppm dengan nilai *desirability* 0,834, menghasilkan prediksi TDS 232,98ppm dan pH 5,73. Uji verifikasi laboratorium membuktikan model kuadratik memiliki validitas tinggi dengan seluruh respon aktual berada dalam rentang *Prediction Interval* (PI 95%). Kesimpulannya, pendekatan statistika ini berhasil memetakan interaksi kompleks antar mineral dan menetapkan standar rekayasa air seduhan yang presisi, terukur, serta dapat direproduksi untuk mengeksplorasi potensi rasa kopi secara optimal.

Kata Kunci: Kopi Arabika, *Brewing Water*, *Response Surface Methodology*, Magnesium Sulfat, Kalsium Klorida

ABSTRACT

Flavor Profile Optimization of Manually Brewed Specialty Coffee via Magnesium Sulfate and Calcium Chloride Supplementation Using Response Surface Methodology (RSM) and Central Composite Design (CCD)

By

MUHAMAD ARIEF SAKTI PUTRA SAESTY

NPM: 223020059

(Departement of Food Technology)

This study aims to examine and optimize the effect of mineral supplementation, specifically Magnesium Sulfate (MgSO_4) and Calcium Chloride (CaCl_2), in brewing water on the sensory profile and physicochemical characteristics of specialty manual brew coffee. The research focuses on quantitatively mapping inter-mineral ion interactions, building predictive mathematical models, and determining an optimal brewing water formulation to enhance the quality and consistency of natural-processed West Java Preanger Bourbon Arabica coffee.

The methodology employed Response Surface Methodology (RSM) with a Central Composite Design (CCD) framework. The combination of independent variables encompassed concentration ranges for (MgSO_4) (30-136ppm) and (CaCl_2) (30-136ppm) across 13 experimental runs. Response variables included physicochemical parameters (pH and Total Dissolved Solids/TDS) and organoleptic attributes evaluated through descriptive analysis by trained panelists. Data were processed using Design-Expert software to construct polynomial regression models, complete Analysis of Variance (ANOVA), and execute numerical optimization based on a desirability function.

The findings indicate that mineral supplementation significantly influenced ($p < 0.05$) physicochemical metrics and most sensory attributes. Magnesium ions were shown to enhance acidity and fruity notes, whereas calcium ions thickened body and mouthfeel. The most optimal brewing water formulation was achieved at (MgSO_4) (112.39ppm) and (CaCl_2) (120ppm) with a desirability score of 0.834, yielding predicted values of 232.98ppm for TDS and 5.73 for pH. Laboratory verification testing confirmed high model validity, with all actual responses falling strictly within the 95% Prediction Interval (PI). In conclusion, this statistical approach successfully mapped complex mineral interactions and established precise, scalable, and reproducible water design standards to fully exploit coffee flavor potential.

Keywords: *Arabica Coffee, Brewing Water, Response Surface Methodology, Magnesium Sulfate, Calcium Chloride*

**OPTIMASI KARAKTER RASA SPECIALTY COFFEE MANUAL
BREW DENGAN PENAMBAHAN MAGNESIUM SULFAT DAN
KALSIUM KLOORIDA MENGGUNAKAN RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY (RSM) DENGAN CENTRAL COMPOSITE
DESIGN (CCD)**

Oleh
Muhamad Arief Sakti Putra Saesty
22.30.20.059

Fakultas Teknik
Universitas Pasundan

Menyetujui

Pembimbing I

Rini Triani, S. Si., M. Sc., Ph. D.

**OPTIMASI KARAKTER RASA SPECIALTY COFFEE MANUAL
BREW DENGAN PENAMBAHAN MAGNESIUM SULFAT DAN
KALSIUM Klorida MENGGUNAKAN RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY (RSM) DENGAN CENTRAL COMPOSITE
DESIGN (CCD)**

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**Karya Tulis sebagai Salah Satu Syarat untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik dari
Universitas Pasundan**

Oleh
Muhamad Arief Sakti Putra Saesty
22.30.20.059

Menyetujui

Koordinator Tugas Akhir

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

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatulahi wabarakatuh

Puji Syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah Subhanahu Wata'ala yang telah melimpahkan Rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyusun Tugas Akhir dengan judul **“OPTIMASI KARAKTER RASA SPECIALTY COFFEE MANUAL BREW DENGAN PENAMBAHAN MAGNESIUM SULFAT DAN KALSIUM KLOORIDA MENGGUNAKAN RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM) DENGAN CENTRAL COMPOSITE DESIGN (CCD)”** ini dengan tepat waktu. Tidak lupa shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada nabi kita Nabi Muhammad Sallallahu Alaihi Wasallam hingga akhir jaman nanti, Aamiin Ya Rabbal 'Alaamiin Tujuan penulisan Laporan Tugas akhir ini adalah untuk melengkapi dan memenuhi salah satu syarat kurikulum Akademik Program Studi Teknologi Pangan Universitas Pasundan.

Dalam penyusunan laporan Tugas akhir, penulis menyadari masih jauh dari kesempurnaan. Penulis mensyukuri laporan ini dapat terselesaikan dengan baik berkat bantuan dan dorongan keluarga tercinta yaitu Saeful Fitri selaku ayah dari penulis, Siti Rachmawati selaku ibu dari penulis, yang selalu memberikan dukungan secara lahir dan batin. Selain itu penulis mendapatkan bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak secara langsung maupun tidak langsung. Maka kesempatan kali ini, sebagai bentuk penghormatan penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Rini Triani, S. Si., M. Sc., Ph. D. Selaku dosen pembimbing utama yang telah banyak meluangkan waktu, tenaga, dan arahan dalam penyusunan proposal penelitian ini.
2. Dr. Yeliantty, S.Si., M.Si. selaku penguji 1 yang telah memberikan waktu, dan arahan serta saran yang sangat berharga untuk proses berjalan nya tugas akhir

3. Dr. Ir. Willy Pranata Widjaja., M.Si. selaku penguji 2 yang telah memberikan waktu, dan arahan serta saran yang sangat berharga untuk proses berjalan nya tugas akhir
4. Jaka Rukmana, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknologi Pangan Fakultas Teknik Universitas Pasundan
5. Saeful Fitri dan Siti Rachmawati selaku orang tua penulis yang telah banyak meluangkan moril dan materil
6. Sulthan dan Satria selaku adik penulis yang selalu memberikan dukungan dan dorongan
7. Terimakasih untuk sang pujaan hati yang selalu membantu penulis jika sedang kesulitan dan selalu memberikan motifasi yang terbaik untuk penulis
8. M. Adam (abah) dan Hariono (om haen) yang selalu memberikan motivasi dan pelajaran hidup yang senantiasa membantu ayah penulis dalam memberikan bimbingan jika penulis sedang pada masa sulit
9. Rekan – Rekan sehoobi permotoran yang selalu memberikan dorongan semangat
10. Sahabat Sahabat HSA yang selalu menjadi wadah penulis untuk mengeluh terkait tugas akhir ini
11. Teman-teman seperjuangan yang selalu memberikan motivasi dan selalu membantu penulis
12. Muhammad Muhaimin, Agung JM, Rahmat Yolanda selaku panelis yang sudah meluangkan waktu dalam kesibukan nya untuk menjadi *cupper* sampel penulis
13. Orang – orang yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu yang sudah mendo'a kan penulis dalam penyusunan laporan tugas akhir ini

Penulis

Muhamad Arief Sakti Putra saesty

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
 Bab I PENDAHULUAN	 1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Identifikasi Masalah	5
I.3 Maksud dan Tujuan Penelitian	5
I.4 Manfaat Penelitian.....	6
I.5 Kerangka Pemikiran.....	6
I.6 Hipotesis Penelitian.....	10
I.7 Waktu dan Tempat Penelitian	11
 Bab II TINJAUAN PUSTAKA	 12
II.1 Kopi Arabika	12
II.1.1 Kopi Jawa Preanger (Jawa Barat).....	15
II.1.2 Arabika Bourbon	16
II.2 Mineral	17
II.2.1 Magnesium (Mg^{2+})	18
II.2.2 Kalsium (Ca^{2+}).....	19
 Bab III METODOLOGI PENELITIAN	 22
III.1 Bahan dan Alat.....	22
III.1.1 Bahan – Bahan Penelitian	22
III.1.2 Alat Penelitian	22
III.2 Metode Penelitian	22
III.2.1 Penelitian Utama	23
III.2.2 Rancangan Perlakuan	23
III.2.3 Rancangan Percobaan	23
III.2.4 Rancangan Analisis	31
III.2.5 Rancangan Respon	32
III.3 Prosedur Penelitian	33
III.3.1 Prosedur Pembuatan Air Kopi.....	33
III.3.2 Prosedur Pembuatan Larutan Mineral.....	35
III.3.3 Prosedur Pembuatan <i>Brewing Water</i>	37
III.3.4 Prosedur Organoleptik (Uji Deskriptif)	38

III.4 Jadwal Pelaksanaan Penelitian	40
Bab IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
IV.1 Penelitian Utama	41
IV.1.1 Analisis Respon Kimia	42
IV.1.2 Analisis Respon Organoleptik	51
IV.2 Formulasi Optimal	78
IV.2.1 Penetapan <i>goal</i> dan <i>importance</i>	78
IV.2.2 Penentuan Formulasi Optimal	82
IV.2.3 Verifikasi Formulasi Optimal	85
Bab V KESIMPULAN DAN SARAN	88
V.1 Kesimpulan	88
V.2 Saran	88
DAFTAR PUSTAKA	90
LAMPIRAN	93

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel II.1. Komponen Kimia Pada Kopi Arabika	13
Tabel III.1. Jadwal Pelaksanaan Penelitian	40
Tabel IV.1. Formulasi Design Expert Variabel Bebas	41
Tabel IV.2. Hasil Analisis Total Padatan Terlarut (TDS)	43
Tabel IV.3. ANOVA Analisis Total Padatan Terlarut.....	44
Tabel IV.4. Fit Statistic analisis Total Padatan Terlarut (TDS)	45
Tabel IV.5. Hasil Analisis pH	47
Tabel IV.6. ANOVA analisis kadar pH	48
Tabel IV.7. Fit Statistic Kadar pH	49
Tabel IV.8. Hasil Analisis Intensitas Aroma.....	51
Tabel IV.9. ANOVA Analisis Intensitas Aroma.....	52
Tabel IV.10. Fit Statistic Analisis Intensitas Aroma.....	53
Tabel IV.11. Hasil Analisis Intensitas Flavor	56
Tabel IV.12. ANOVA Analisis Intensitas Flavor	57
Tabel IV.13. Fit Statistic analisis intensitas flavor	58
Tabel IV.14. Hasil Analisis Intensitas <i>Aftertaste</i>	61
Tabel IV.15. ANOVA Analisis Intensitas <i>Aftertaste</i>	62
Tabel IV.16. Fit Statistic Analisis Intensitas <i>Aftertaste</i>	62
Tabel IV.17. Hasil Analisis Intensitas <i>Acidity</i>	65
Tabel IV.18. ANOVA analisis intensitas acidity	66
Tabel IV.19. Fit Statistic Analisis Intensitas <i>Acidity</i>	67
Tabel IV.20. . Hasil Analisis Intensitas <i>Sweetness</i>	70
Tabel IV.21. ANOVA Analisis Intensitas <i>Sweetness</i>	71
Tabel IV.22. Fit Statistic Analisis Kuantitas dan Kualitas <i>Sweetness</i>	71
Tabel IV.23. Hasil Analisis Intensitas <i>Mouthfeel</i>	74
Tabel IV.24. ANOVA Analisis Intensitas <i>Mouthfeel</i>	75
Tabel IV.25. Fit Statistic Intensitas <i>Mouthfeel</i>	75
Tabel IV.26. Penetapan Goal Dan Importance Air enyeduh kopi	79
Tabel IV.27. Penetapan Goal Dan Importance Air seduhan kopi.....	80

Tabel IV.28. Rekomendasi Formulasi Optimal Produk Air penyeduh kopi.....	82
Tabel IV.29. Rekomendasi Formulasi Optimal Produk Air seduhan kopi	82
Tabel IV.30. Hasil Point Prediction pada Produk Air Penyeduh kopi.....	84
Tabel IV.31. Hasil Point Prediction pada Produk Air Seduan kopi.....	85
Tabel IV.32. Hasil Verifikasi Formulasi Optimal Air Penyeduh Kopi	86
Tabel IV.33. Hasil Verifikasi Formulasi Optimal Air seduhan Kopi.....	86
Tabel IV.34. Hasil Verifikasi Formulasi Optimal Air seduhan Kopi.....	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar II.1. Perbedaan Kopi Arabika dan Robusta	12
Gambar II.2. Peta Rasa Kopi.....	14
Gambar II.3. Kopi Arabika Java Preanger	15
Gambar II.4.Kopi Arabika Bourbon.....	16
Gambar II.5. Magnesium Sulfat ($MgSO_4$)	18
Gambar II.6. Kalsium Klorida ($CaCl_2$)	20
Gambar III.1. Penginputan Faktor Percobaan serta Batas Atas dan Bawah	24
Gambar III.2. Penginputan Respon yang Digunakan.....	24
Gambar III.3. Kombinasi <i>Run</i> secara Otomatis	25
Gambar III.4. Input Data Hasil Penelitian	25
Gambar III.5. Memulai Analisis per Respon	26
Gambar III.6. Tabel ANOVA dari Data yang Dianalisis	27
Gambar III.7. Uji Diagnostik Model.....	27
Gambar III.8. Visualisasi Hubungan Antar Faktor.....	28
Gambar III.9. Optimasi Kombinasi Perlakuan.....	28
Gambar III.10. Input Goals Setiap Faktor.....	29
Gambar III.11. Nilai Desirability	29
Gambar III.12. Grafik Countour 3D	30
Gambar III.13. Point Prediksi Respon (log reduksi).....	30
Gambar III.14. Diagram Alir Pembuatan Air Kopi.....	34
Gambar III.15. Diagram Alir Pembuatan Larutan Mineral.....	36
Gambar III.16. Diagram Alir Pembuatan Brewing Water.....	37
Gambar III.17. Diagram alir prosedur uji deskriptif.....	39
Gambar IV.1. Grafik Kenormalan Internally Studentized Residuals Analisis Total Padatan Terlarut (TDS)	46
Gambar IV.2. Grafik 3D Surfuce Analisis Total Padatan Terlarut (TDS).....	46
Gambar IV.3.Grafik Kenormalan Internally Studentized Residuals Analisis pH .	50
Gambar IV.4. Grafik 3D Surfuce Analisis pH.....	50

Gambar IV.5. Grafik Kenormalan Internally Studentized Residuals Intensitas Aroma.....	54
Gambar IV.6. Grafik 3D Surface Analisis Intensitas Aroma	54
Gambar IV.7. Grafik Kenormalan Internally Studentized Residuals Intensitas Flavor	59
Gambar IV.8. Grafik 3D Surface Analisis Intensitas Flavor.....	59
Gambar IV.9. Grafik Kenormalan Internally Studentized Residuals Intensitas <i>Aftertaste</i>	64
Gambar IV.10. Grafik 3D Surface Analisis Intensitas <i>Aftertase</i>	64
Gambar IV.11. Grafik Kenormalan Internally Studentized Residuals Intensitas <i>Acidity</i>	68
Gambar IV.12. Grafik 3D Surface Analisis Intensitas <i>Acidity</i>	69
Gambar IV.13. Grafik Kenormalan Internally Studentized Residuals Intensitas <i>Sweetness</i>	72
Gambar IV.14. Grafik 3D Surface Analisis Intensitas <i>Sweetness</i>	73
Gambar IV.15. Grafik Kenormalan Internally Studentized Residuals Intensitas <i>Mouthfeel</i>	77
Gambar IV.16. Grafik 3D Surface Analisis Intensitas <i>Mouthfeel</i>	77
Gambar IV.17. Grafik <i>Desirability</i> Formulasi Optimal Produk Air seduhan kopi	83
Gambar IV.17. Grafik <i>Desirability</i> Formulasi Optimal Produk Air seduhan kopi	83
Gambar IV.18. Grafik <i>Desirability</i> Formulasi Optimal Produk Air seduhan kopi	84

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Lampiran A. Rumus Formulasi (Ppm).....	93
Lampiran B. Rumus Pengenceran.....	93
Lampiran C. Prosedur Penggunaan pH meter.....	93
Lampiran D. Prosedur Penggunaan TDS meter	96
Lampiran E. Formulasi Magnesium Sulfat dan Kalsium Klorida.....	98
Lampiran F. Penelitian Utama.....	98
Lampiran G. Form dan Hasil Organoleptik	107
Lampiran H. Sertifikat Kompetensi Panelis.....	109

Bab I PENDAHULUAN

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

I.1 Latar Belakang

Kopi merupakan salah satu komoditas pertanian yang memiliki signifikansi ekonomi dan sosial besar di tingkat global. Lebih dari sekadar minuman, kopi telah menjadi bagian dari gaya hidup masyarakat modern di berbagai belahan dunia. Dalam konteks perdagangan internasional, kopi disebut sebagai komoditas pertanian yang paling banyak diperdagangkan secara legal di dunia (Dwi Cahyo, 2021).

Indonesia menduduki posisi keempat sebagai produsen kopi terbesar di dunia, menjadikan kopi sebagai salah satu komoditas unggulan sektor perkebunan nasional. Pada tahun 2016, nilai ekspor kopi Indonesia mencapai 1,01 miliar USD, berkontribusi sebesar 3,94% dari total nilai perdagangan komoditas perkebunan yang mencapai 25,58 miliar USD, menempatkannya pada urutan kelima setelah kelapa sawit, karet, kakao, dan kelapa (Dwi Cahyo, 2021). Posisi strategis ini menuntut peningkatan kualitas produk kopi, tidak hanya dari sisi produksi hulu, tetapi juga pada tahap penyajian akhir kepada konsumen.

Kualitas seduhan kopi dipengaruhi oleh sejumlah faktor, salah satunya adalah proses penyangraian. Pada proses ini, terjadi pirolisis komponen karbohidrat biji kopi, termasuk hemiselulosa, selulosa, dan lignin pada suhu sekitar 200–260°C yang menghasilkan berbagai senyawa sederhana seperti furan, karbonil, fenol, dan gula reduksi (Darmadji, 2004). Senyawa-senyawa tersebut bersifat larut dalam air dan berkontribusi langsung terhadap pembentukan rasa, warna, dan aroma kopi. Selain itu, biji kopi mentah mengandung kafein dan asam klorogenat yang turut mempengaruhi profil kimiawi seduhan (Mulato, 2002)

Di luar proses penyangraian, komposisi mineral dalam air seduhan terbukti memiliki peran krusial dalam menentukan kualitas ekstraksi senyawa flavor kopi. Penelitian (Hendon et al., 2014) menunjukkan bahwa ion Mg^{2+} dan Ca^{2+} memiliki energi ikat yang tinggi terhadap senyawa-senyawa aromatik kopi, termasuk asam kuinat dan asam klorogenat. Secara termodinamika, ion (Mg^{2+}) memiliki kerapatan muatan yang lebih tinggi sehingga lebih efektif dalam mengekstraksi senyawa flavor polar dan kompleks, sementara Ca^{2+} cenderung berkontribusi pada pembentukan *body* atau tekstur seduhan. Namun demikian, ekstraksi yang berlebihan khususnya terhadap asam klorogenat dapat memicu munculnya rasa pahit tidak menyenangkan, kesan kapur (*chalkiness*), dan rasa tanah (*earthiness*) yang merugikan profil sensorik secara keseluruhan. Oleh karena itu, rasio penambahan kedua mineral ini perlu dikendalikan secara presisi. Diluar ion magnesium (Mg^{2+}) dan kalsium (Ca^{2+}) ada beberapa ion yang diketahui dapat memaksimalkan karakteristik kopi yaitu ion natrium (Na^+), kalium (K^+), fosfor (P^{3-}), dan bikarbonat (HCO_3^-).

Keamanan dan batasan penggunaan Bahan Tambahan Pangan (BTP) di Indonesia, termasuk mineral pendukung dalam formulasi pangan, telah diatur oleh otoritas berwenang. Berdasarkan Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) Nomor 11 Tahun 2019 tentang Bahan Tambahan Pangan, Magnesium Sulfat ($MgSO_4$) dengan nomor internasional (INS 518) dikategorikan sebagai BTP yang memiliki fungsi sebagai pengatur keasaman rasa. Merujuk pada peraturan tersebut, Magnesium Sulfat ($MgSO_4$) termasuk dalam golongan BTP dengan batas maksimal penggunaan CPPB (Cara Produksi Pangan yang Baik) atau Quantum Satis. Prinsip ini memberikan fleksibilitas bagi produsen dan peneliti untuk menggunakan Magnesium Sulfat dalam jumlah secukupnya hingga mencapai efek fungsional yang diinginkan, dengan catatan tidak melampaui ambang batas keamanan konsumsi. Mengingat ketiadaan angka nominal batas maksimal dalam regulasi tersebut, penelitian mengenai optimasi dosis melalui metode seperti *Response Surface Methodology* (RSM) menjadi krusial. Hal ini dilakukan untuk menentukan titik konsentrasi optimal yang tidak hanya memenuhi aspek legalitas CPPB, tetapi

juga menghasilkan profil sensori dan karakteristik teknis yang paling unggul bagi konsumen (Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik, 2019).

Berdasarkan Peraturan BPOM Nomor 11 Tahun 2019, Kalsium Klorida (CaCl_2) dengan nomor internasional (INS 509) merupakan Bahan Tambahan Pangan (BTP) yang diizinkan penggunaannya sebagai penguat rasa. Regulasi tersebut menetapkan batas maksimum penggunaan kedua mineral ini berdasarkan prinsip Cara Produksi Pangan yang Baik (CPPB) atau Quantum Satis, yang memberikan keleluasaan bagi peneliti untuk menentukan dosis optimal sesuai dengan kebutuhan teknis produk. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi konsentrasi mineral yang paling efektif guna mencapai profil sensorik terbaik pada minuman kopi sesuai dengan batasan fungsi tersebut.

Dalam konteks *specialty coffee manual brew*, standar kualitas air seduhan menjadi semakin relevan. Standar yang dikembangkan oleh Specialty Coffee Association (SCA) merekomendasikan kandungan mineral tertentu dalam air brewing guna mengoptimalkan ekstraksi. Meski demikian, konsentrasi optimal yang disesuaikan dengan profil biji kopi lokal Indonesia yang belum banyak dikaji secara sistematis menggunakan pendekatan statistik yang memadai.

Menurut (Hendon et al., 2014) Air merupakan komponen dominan dalam seduhan kopi yang menyusun sekitar 98% hingga 99% dari keseluruhan volume minuman, sehingga karakteristik fisikokimianya memegang peranan krusial dalam menentukan efisiensi ekstraksi dan profil organoleptik yang dihasilkan. Salah satu parameter mutu air yang paling berpengaruh adalah kesadahan (*water hardness*), yaitu konsentrasi kation logam bervalensi dua yang terlarut, terutama ion Kalsium (Ca^{2+}) dan Magnesium (Mg^{2+}). Secara kimiawi, kedua ion mineral tersebut bertindak sebagai peningkat ekstraksi (*extraction enhancers*) yang berinteraksi secara selektif dengan senyawa polar dan non-polar di dalam bubuk kopi. Ion magnesium (Mg^{2+}) memiliki kerapatan muatan ionik yang tinggi sehingga sangat efektif dalam mengikat senyawa volatil penyebab aroma segar, keasaman (*acidity*), dan karakter rasa buah (*fruity notes*). Sementara itu, ion kalsium (Ca^{2+}) berperan

signifikan dalam mengikat senyawa bermolekul besar yang berkontribusi terhadap persepsi ketebalan (*body*) dan tekstur (*mouthfeel*) pada minuman.

Menurut (Hendon et al., 2014) terdapat risiko munculnya fenomena ion kompetitif, di mana berbagai jenis ion mineral akan saling berkompetisi untuk berikatan dengan sisi aktif (*binding sites*) molekul kopi selama proses ekstraksi berlangsung. Kehadiran satu jenis mineral dalam konsentrasi yang berlebihan dapat menghambat atau menutupi (*masking*) peran mineral lainnya, sehingga berpotensi menghasilkan profil rasa yang tidak seimbang, seperti munculnya rasa pahit yang tajam atau hilangnya keasaman yang diinginkan. Oleh karena itu, interaksi antar mineral ini menjadi faktor pembatas yang kompleks dalam mencapai atribut sensorik yang optimal. Tanpa adanya pengaturan rasio dan konsentrasi yang tepat, potensi rasa dari biji kopi tidak akan tereksplorasi secara maksimal.

Hasil penentu akhir yang akan menentukan bagaimana rasa kopi itu adalah di bagian seduhan (*brewing*) V60 sering dijuluki sebagai metode yang kejam bagi penyeduh karena sangat sensitif terhadap kesalahan kecil. Ketangkasan Tangan menjadi salah satu penentu hasil akhir karena kecepatan, pola aliran air (*pouring*), dan ketinggian air sangat memengaruhi hasil akhir. Sedikit saja tangan goyang atau kucuran tidak stabil, rasa kopi bisa berubah. Diluar ini harus mengontrol ukuran gilingan (*grind size*), suhu air, rasio, hingga waktu seduh secara presisi untuk mendapatkan hasil yang konsisten.

Untuk menjawab tantangan tersebut, penelitian ini mengadopsi *Response Surface Methodology* (RSM) dengan *Central Composite Design* (CCD) sebagai kerangka optimasi. RSM merupakan metode statistik yang mampu memodelkan hubungan antara beberapa variabel input dengan respons yang diinginkan secara simultan, sekaligus mengidentifikasi titik optimal melalui permodelan polinomial kuadrat (Efthimiadis, 2012). Penggunaan desain CCD memungkinkan eksplorasi ruang eksperimental yang efisien dengan jumlah percobaan yang lebih sedikit dibandingkan desain faktorial penuh. Melalui pendekatan ini, konsentrasi optimal

Kalsium Klorida (CaCl_2) dan Magnesium Sulfat (MgSO_4) dalam air seduhan dapat ditentukan secara matematis berdasarkan respons atribut sensorik yang terukur, sehingga menghasilkan standar yang dapat direproduksi dan diaplikasikan secara konsisten di industri kopi.

I.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, permasalahan dalam penelitian ini diidentifikasi sebagai berikut:

1. Kualitas seduhan specialty coffee manual brew sangat dipengaruhi oleh komposisi mineral dalam air seduhan, namun hingga saat ini belum terdapat standar konsentrasi mineral yang teroptimasi secara ilmiah, khususnya untuk Kalsium Klorida (CaCl_2) dan Magnesium Sulfat (MgSO_4), yang menghasilkan profil sensorik terbaik secara konsisten.
2. Interaksi antara konsentrasi CaCl_2 dan MgSO_4 dalam air seduhan terhadap atribut sensorik kopi meliputi Kualitas dan Intensitas acidity, sweetness, mouthfeel, Flavor dan aftertaste belum dipetakan secara kuantitatif menggunakan pendekatan pemodelan statistik seperti RSM-CCD.
3. Belum tersedia model prediktif yang tervalidasi untuk menentukan titik konsentrasi optimal kedua mineral tersebut yang memaksimalkan tingkat penerimaan sensorik (*overall liking*) konsumen pada seduhan kopi spesialti

I.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengkaji dan mengoptimasi konsentrasi suplementasi Kalsium Klorida (CaCl_2) dan Magnesium Sulfat (MgSO_4) dalam air seduhan sebagai agen ekstraksi pada specialty coffee manual brew, guna mengidentifikasi komposisi mineral yang menghasilkan profil sensorik terbaik. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan landasan ilmiah yang dapat diaplikasikan oleh pelaku usaha coffee shop maupun penikmat kopi dalam menjaga konsistensi dan kualitas rasa.

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh konsentrasi CaCl_2 dan MgSO_4 serta interaksinya terhadap atribut sensorik seduhan specialty coffee, yang meliputi intensitas keasaman (acidity), kemanisan (sweetness), tekstur (mouthfeel), Flavor dan aftertaste
2. Membangun model matematis berbasis RSM-CCD yang menggambarkan hubungan antara variabel konsentrasi mineral dengan respons sensorik, serta menentukan titik optimal konsentrasi CaCl_2 dan MgSO_4 yang menghasilkan tingkat penerimaan sensorik tertinggi (overall liking).
3. Memvalidasi model RSM yang diperoleh melalui uji verifikasi eksperimental di laboratorium, guna memastikan kesesuaian antara prediksi model dengan hasil nyata seduhan kopi pada kondisi optimal yang ditentukan.

I.4 Manfaat Penelitian

- Bagi Industri Kopi (*Coffee Shop & Roastery*): Memberikan panduan teknis mengenai standar komposisi air seduhan yang ideal untuk menghasilkan cita rasa kopi yang seimbang, sehingga dapat meningkatkan standar layanan dan kepuasan pelanggan.
- Bagi Peneliti/Barista: Memberikan pemahaman praktis dalam melakukan "rekayasa air" (*water hacking*) secara presisi tanpa harus melalui proses percobaan yang memakan banyak waktu dan biaya.
- Bagi Masyarakat/Konsumen: Meningkatkan pengetahuan konsumen mengenai pentingnya kualitas air dalam menentukan kualitas rasa kopi, sehingga konsumen dapat mengapresiasi kopi dengan lebih baik.

I.5 Kerangka Pemikiran

Kopi merupakan salah satu komoditas perkebunan utama Indonesia yang berkontribusi signifikan terhadap perekonomian nasional melalui penyerapan tenaga kerja, pemenuhan konsumsi domestik, dan perolehan devisa dari ekspor. Popularitas kopi yang terus meningkat tidak terlepas dari keunikan profil sensoriknya meliputi cita rasa, aroma, dan warna yang dihasilkan dari rangkaian proses pascapanen hingga penyajian (Wahyudi et al., 2023). Salah satu varietas yang paling diminati di pasar *specialty coffee* adalah Kopi Arabika, yang dimana

biji kopi ini ditanam pada ketinggian 1.350–1.850 mdpl dengan iklim kering, mengandung kafein sebesar 1–1,30%, serta memiliki profil aroma dan rasa yang kompleks dan kuat (Pradipta & Kiki, 2017)

Kompleksitas rasa kopi berakar pada kandungan kimianya yang sangat kaya. Biji kopi mengandung ribuan komponen kimia yang karakteristiknya dipengaruhi oleh faktor lingkungan tumbuh, tingkat kematangan panen, dan kondisi penyimpanan. Proses penyangraian lebih lanjut mentransformasi komponen-komponen sederhana tersebut menjadi senyawa yang lebih kompleks melalui reaksi Maillard dan pirolisis, yang pada akhirnya membentuk profil flavor khas setiap biji kopi (Pradipta & Kiki, 2017). Namun, potensi flavor terbaik dari biji kopi hanya dapat diekstraksi secara optimal apabila didukung oleh media pelarut yang tepat, yaitu air seduhan..

Air menyusun 98–99% dari isi cangkir kopi sehingga komposisi kimianya menjadi variabel penentu utama kualitas ekstraksi, bukan sekadar media pasif. Specialty Coffee Association (Specialty Coffee Association, 2021). Menetapkan standar kualitas air seduhan yang mencakup kandungan mineral, pH, dan Total Dissolved Solids (TDS) sebagai parameter kritis dalam menghasilkan seduhan kopi berkualitas tinggi. TDS yang terlalu rendah menghasilkan air kosong yang cenderung menyebabkan ekstraksi berlebih (*over-extracted*) sehingga merusak keseimbangan rasa, sementara TDS yang terlalu tinggi justru menghambat proses pelarutan senyawa flavor secara optimal. Air demineralisasi dengan TDS mendekati nol cenderung menghasilkan keasaman (*acidity*) yang sangat tinggi dan profil rasa yang tidak seimbang. Dari sisi pH, air dengan kondisi terlalu basa akan menetralkan keasaman alami kopi, sedangkan air yang terlalu asam dapat mendistorsi profil rasa asli biji kopi. Oleh karena itu, pH netral sekitar 7,0 menjadi rekomendasi standar untuk air seduhan.

Di antara mineral-mineral yang terkandung dalam air, ion Magnesium (Mg^{2+}) dan ion Kalsium (Ca^{2+}) memiliki peran yang paling relevan terhadap profil sensorik

kopi. Berdasarkan penelitian (Hendon et al., 2014), ion Mg^{2+} memiliki kerapatan muatan yang lebih tinggi sehingga lebih efektif dalam menarik senyawa flavor yang bersifat polar dan kompleks, berkontribusi pada intensitas rasa serta karakter buah-buahan (*fruity*) pada seduhan. Sebaliknya, ion Ca^{2+} berperan dalam menonjolkan atribut body dan tekstur seduhan. Namun demikian, penambahan Ca^{2+} yang berlebihan berisiko memunculkan sensasi *chalkiness* (rasa kapur) yang tidak diinginkan, sementara kelebihan Mg^{2+} dapat mempertegas *earthiness* (rasa tanah) yang merugikan profil sensorik. Dengan demikian, keseimbangan rasio antara $CaCl_2$ dan $MgSO_4$ dalam air seduhan harus dikendalikan secara presisi untuk mencapai profil sensorik yang optimal.

Mekanisme pembentukan rasa *fruity* dari penggunaan Magnesium (Mg^{2+}) menurut Hendon et al., (2014). Kopi mengandung berbagai asam organik seperti asam sitrat (asam jeruk) dan asam malat (asam apel). Ion Mg^{2+} berperan seperti jangkar yang menarik senyawa asam ini keluar dari selulosa kopi menuju air secara lebih agresif dibandingkan ion lainnya. Secara termodinamika, magnesium memiliki energy ikat yang kuat dengan gugus fungsi oksigen pada asam-asam tersebut. Hasilnya, ekstraksi yang kaya magnesium cenderung menonjolkan tingkat keasaman (*acidity*) yang cerah dan tajam, yang sering kita persepsikan sebagai rasa buah (*fruity*) (Hendon et al., 2014).

Mekanisme pembentukan *body*/tekstur dari penggunaan kalsium (Ca^{2+}) menurut (Hendon et al., 2014). Kalsium (Ca^{2+}) bekerja melalui mekanisme yang berbeda dari magnesium (Mg^{2+}), kalsium (Ca^{2+}) lebih berfokus pada agreasi molekul dan ekstraksi senyawa berat, kalsium (Ca^{2+}) memiliki kecenderungan lebih besar untuk berikatan dengan senyawa yang memiliki rantai karbon panjang, termasuk lipid (lemak kopi) dan sisa-sisa protein kopi, kalsium sering bertindak sebagai jembatan antara molekul-molekul organik yang bermuatan negatif seperti (pektin atau polisakarida). Ini menyebabkan terbentuknya agregat molekul yang lebih besar dalam larutan. Keberadaan kalsium-lipid ini meningkatkan viskositas cairan di lidah, cairan yang lebih kental dan mengandung lebih banyak padatan terlarut (TDS) yang terikat pada lemak akan memberikan sensasi berat atau *creamy*.

Dalam penelitian ini, metode penyeduhan yang digunakan adalah *manual brew* dengan teknik V60. Metode V60 dipilih karena kemampuannya menghasilkan seduhan yang bersih dan jernih (*clean cup*) serta sangat menonjolkan karakter asli biji kopi dibandingkan metode lain seperti *French Press* yang cenderung menghasilkan body tebal dengan tekstur kaya minyak (Situmorang, 2024). Karakteristik V60 yang clean dan transparent menjadikannya metode yang paling sensitif terhadap perubahan komposisi air seduhan, sehingga sangat tepat digunakan sebagai platform pengujian pengaruh mineral terhadap profil sensorik kopi.

Dalam penelitian ini panelis yang digunakan yaitu panelis terlatih karena uji yang di gunakan yaitu uji deskriptif, panelis terlatih ini memiliki kriteria menurut (Garnida, 2020). Panelis harus memiliki kepekaan yang tajam terhadap rangsangan sensorik. Hal ini biasanya dibuktikan melalui: Uji Ambang Batas (*Threshold Test*): Mampu mendeteksi rasa dasar (manis, asin, asam, pahit) pada konsentrasi yang sangat rendah. Uji Pembeda: Konsisten dalam mengenali perbedaan kecil antar sampel, Berbeda dengan panelis agak terlatih, panelis terlatih harus: Melewati proses seleksi yang ketat, Mengikuti pelatihan intensif untuk menyamakan persepsi mengenai atribut produk (misalnya: menyepakati apa yang dimaksud dengan tekstur renyah atau aroma fruity), Memiliki frekuensi pengujian yang rutin agar kemampuannya tetap terasah, lalu pada penelitian ini Panelis dituntut tidak hanya merasakan, tetapi juga mampu: Mendeskripsikan karakteristik sensorik secara mendalam, Memberikan penilaian berdasarkan skala intensitas yang objektif bukan berdasarkan suka atau tidak suka (*dislikes/likes*) dan juga Konsistensi dan Keandalan (*Reliability*) Seorang panelis terlatih harus memberikan hasil yang konsisten jika diuji dengan sampel yang sama pada waktu yang berbeda. Jika hasil penilaiannya terlalu fluktuatif, maka ia dianggap tidak reliabel untuk data penelitian.

Evaluasi pengaruh mineral terhadap kualitas seduhan dilakukan melalui uji organoleptik, yakni pengukuran berbasis indera manusia untuk menilai atribut rasa, aroma, dan tekstur produk pangan. Uji organoleptik memiliki peranan penting

dalam penerapan standar mutu karena mampu menangkap persepsi sensorik secara holistik yang tidak selalu dapat direpresentasikan oleh analisis instrumental semata (Garnida, 2020). Atribut yang dievaluasi dalam penelitian ini meliputi kualitas dan *intensitas acidity, sweetness, mouthfeel, flavor* dan *aftertaste*.

Untuk mengoptimasi konsentrasi CaCl_2 dan MgSO_4 secara simultan terhadap keseluruhan atribut sensorik tersebut, penelitian ini menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) dengan *Central Composite Design* (CCD). RSM merupakan metode statistik yang mampu membangun model matematis polinomial kuadrat yang menggambarkan hubungan antara variabel bebas (konsentrasi mineral) dengan variabel respons (atribut sensorik), sekaligus mengidentifikasi titik optimal melalui analisis permukaan respons. Penggunaan CCD memungkinkan eksplorasi ruang eksperimental yang komprehensif dengan jumlah percobaan yang efisien, sehingga interaksi antar variabel dapat dipetakan secara akurat (Efthimiadis, 2012). Dengan demikian, pendekatan RSM-CCD dalam penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan formula air seduhan yang terstandarisasi dan dapat direproduksi untuk keperluan industri specialty coffee.

1.6 Hipotesis Penelitian

1. Konsentrasi CaCl_2 dan MgSO_4 dalam air seduhan berpengaruh signifikan secara individual maupun melalui interaksinya terhadap atribut sensorik seduhan specialty coffee manual brew, yang meliputi acidity, sweetness, mouthfeel, flavor dan aftertaste.
2. Terdapat kombinasi konsentrasi CaCl_2 dan MgSO_4 yang optimal, yang secara simultan menghasilkan tingkat penerimaan sensorik keseluruhan (overall liking) tertinggi sekaligus meminimalkan atribut defek rasa
3. Model matematis yang dibangun melalui RSM dengan Central Composite Design (CCD) mampu memprediksi profil sensorik seduhan kopi secara akurat berdasarkan konsentrasi mineral air seduhan, dan prediksi model tersebut dapat divalidasi melalui uji verifikasi eksperimental di laboratorium

I.7 Waktu dan Tempat Penelitian

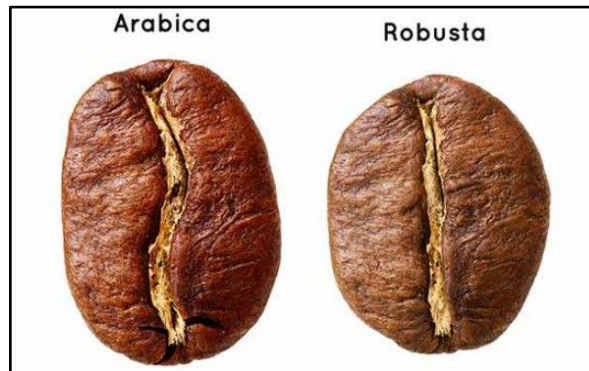
Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April 2026 hingga Juni 2026, bertempat di Laboratorium Teknologi Pangan, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan, Kampus IV Universitas Pasundan, Jalan Dr. Setiabudi No. 193, Kota Bandung.

Bab II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan mengenai: (2.1) Kopi Arabika, (2.2) Mineral

II.1 Kopi Arabika

Kopi Arabika (*Coffea arabica*) merupakan spesies kopi yang paling banyak dibudidayakan di dunia dan memiliki nilai ekonomis tertinggi di antara spesies kopi lainnya. Tanaman ini tumbuh optimal pada dataran tinggi dengan elevasi 1.000–2.000 mdpl, suhu udara berkisar 15–24°C, dan kondisi iklim yang relatif kering. Secara taksonomi, kopi Arabika termasuk dalam famili Rubiaceae dan merupakan satu-satunya spesies kopi yang bersifat tetraploid serta mampu melakukan penyerbukan sendiri (self-pollinating) (Hendon et al., 2014). Dibandingkan dengan Kopi Robusta, Arabika memiliki profil rasa yang lebih kompleks dengan keasaman yang lebih cerah, sementara Robusta mengandung kafein dua kali lebih tinggi sekitar 2,0–2,7% berbanding 0,9–1,5% pada Arabika, yang berkontribusi pada rasa pahit yang lebih tajam (Sitepu et al., 2024).



Gambar II.1. Perbedaan Kopi Arabika dan Robusta
(Sumber : (Specialty Coffee Association, 2021))

Kualitas sensorik kopi Arabika sangat ditentukan oleh kandungan kimianya yang bertindak sebagai prekursor pembentukan aroma dan rasa selama proses penyangraian. Tabel 1 merangkum komponen kimia utama beserta perannya terhadap profil sensorik.

Tabel II.1. Komponen Kimia Pada Kopi Arabika

Komponen Kimia	Kandungan (% Berat Kering)	Peran terhadap Kualitas
Sukrosa (Gula)	6.0 – 9.0%	Prekursor rasa manis dan asam (reaksi Maillard).
Lipid (Lemak)	15.0 – 17.0%	Pembawa aroma dan berkontribusi pada body (mouthfeel).
Asam Klorogenat	5.5 – 8.0%	Penentu tingkat keasaman (acidity) dan astringensi.
Kafein	0.9 – 1.5%	Memberikan kontribusi pada rasa pahit (bitterness).
Trigonelline	1.0 – 1.2%	Terdegradasi menjadi senyawa aromatik piridin saat di-roast.

(Hendon et al., 2014)

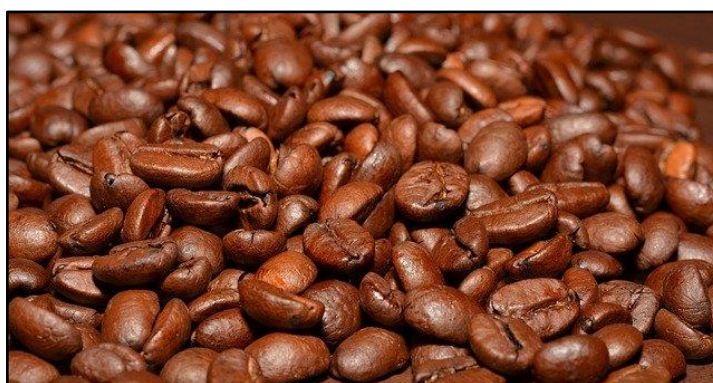
Kopi Arabika dikenal memiliki profil rasa yang kompleks dengan dominasi keasaman yang cerah (*bright acidity*) serta aroma yang kaya, mencakup karakter *floral*, *fruity*, dan *nutty*. Berdasarkan standar Specialty Coffee Association (SCA), kopi Arabika dikategorikan sebagai *specialty* apabila memperoleh skor sensorik di atas 80 poin dalam evaluasi *cupping* terstandarisasi.



Gambar II.2. Peta Rasa Kopi
(Sumber : (Specialty Coffee Association, 2021))

II.1.1 Kopi Jawa Preanger (Jawa Barat)

Kopi Jawa Preanger (Java Preanger) merujuk pada kopi Arabika yang ditanam di wilayah pegunungan Jawa Barat, yang secara historis merupakan lokasi perkebunan kopi pertama di Indonesia pada era kolonial. Karakteristik uniknya dibentuk oleh terroir berupa tanah vulkanik kaya bahan organik dan ketinggian di atas 1.200 mdpl. Varietas yang umum dibudidayakan meliputi Sigarar Utang, Lini S, Kartika, dan Bourbon, yang secara kolektif menghasilkan profil keasaman (*acidity*) bersih dengan aroma bunga (*floral*) yang khas (Yusianto, & Widyotomo, 2014).



Gambar II.3. Kopi Arabika Java Preanger

(Sumber: (Yusianto, & Widyotomo, 2014))

Dalam penelitian ini, kopi Jawa Preanger yang digunakan diproses dengan metode natural. Pada metode ini, buah kopi (*cherry*) dikeringkan secara utuh di bawah sinar matahari tanpa melalui tahap pengupasan kulit maupun pencucian terlebih dahulu, hingga kadar air mencapai 10–12%. Proses pengeringan yang berlangsung selama 2–4 minggu ini memungkinkan terjadinya fermentasi alami di dalam buah, di mana senyawa gula dan pektin dari daging buah (*pulp*) bermigrasi ke dalam biji melalui proses osmosis. Akibatnya, biji kopi natural memiliki kandungan padatan terlarut (*soluble solids*) yang lebih tinggi dibandingkan kopi washed (Yusianto, & Widyotomo, 2014).

Profil sensorik kopi Jawa Preanger *natural* yang dihasilkan dari proses tersebut mencakup beberapa karakteristik yang relevan bagi penelitian ini. Dari sisi aroma dan *flavor*, seduhan didominasi oleh karakter buah tropis matang, beri, coklat, dan sensasi *winey* akibat terbentuknya senyawa volatil golongan ester dan aldehida

selama fermentasi kering. Intensitas kemanisan (*sweetness*) cenderung tinggi karena penyerapan sukrosa dan glukosa dari *mucilage*, sementara *body* atau tekstur cairan di mulut (*mouthfeel*) bersifat lebih tebal dan *creamy*. Keasaman (*acidity*) yang dihasilkan cenderung lebih lembut (*mellow*) dan kompleks, menyerupai karakter asam malat atau asam tartrat (Sunarharum, 2019). Profil ini menjadi landasan penting dalam menentukan atribut sensorik yang akan dievaluasi pada penelitian ini.

II.1.2 Arabika Bourbon

Varietas Bourbon merupakan salah satu varietas Arabika dengan reputasi tertinggi dalam dunia *specialty coffee*. Secara genetik, Bourbon adalah mutasi alami dari varietas Typica yang pertama kali ditemukan di Pulau Bourbon (kini Pulau Réunion) di Samudra Hindia sekitar abad ke-18, dan saat ini telah banyak dibudidayakan di Indonesia, khususnya di wilayah Jawa Barat.



Gambar II.4.Kopi Arabika Bourbon

(Sumber: (World Coffee Research., 2023)

Dari sisi agronomi, tanaman Bourbon memiliki struktur cabang yang lebih tegak dengan daun lebih lebar dan tepi bergelombang. Produktivitasnya sekitar 20–30% lebih tinggi dibandingkan varietas Typica, meskipun tetap tergolong moderat. Pertumbuhan optimal berlangsung pada ketinggian 1.100–2.000 mdpl; di bawah ketinggian tersebut, kualitas rasa dan ketahanan tanaman cenderung menurun. Bourbon juga dikenal rentan terhadap penyakit utama kopi seperti karat daun (*Hemileia vastatrix*), penyakit buah kopi (*Coffee Berry Disease/CBD*), dan

serangan nematoda (World Coffee Research., 2023). Dari sisi profil sensorik, Bourbon dihargai oleh para Q-Grader karena kompleksitas rasanya. Kemanisan (sweetness) yang menonjol sering hadir dalam catatan rasa karamel, vanila, atau cokelat susu, didukung oleh konsentrasi gula alami yang tinggi. Keasaman (acidity) bersifat cerah (bright) namun bersih dan lembut, tidak setajam varietas asal Afrika Timur. Tekstur (body) cenderung halus, padat, dan buttery (Hoffmann, 2018)

Bourbon juga memiliki variasi genetik berdasarkan warna ceri pada saat matang, yang masing-masing menghasilkan karakteristik kimiawi berbeda. Red Bourbon adalah varietas standar dengan keseimbangan rasa manis dan asam yang klasik. Yellow Bourbon mengandung senyawa xanthophyll dan cenderung menghasilkan profil buah-buahan tropis dengan tekstur yang lebih creamy. Pink Bourbon merupakan varietas yang lebih langka dan secara genetik unik, dengan karakteristik rasa yang sering disamakan dengan varietas Geisha yang elegan (Sunarharum, W. B., Syah, D., & Lioe, 2019)

II.2 Mineral

Mineral adalah senyawa anorganik alami yang memiliki komposisi kimia tetap, struktur kristal teratur, dan terbentuk melalui proses geologis di kerak bumi. Dalam konteks ilmu gizi dan teknologi pangan, mineral merupakan nutrisi esensial yang dibutuhkan tubuh untuk mendukung berbagai fungsi fisiologis mulai dari pembentukan struktur tulang dan gigi (kalsium, fosfor), pengaturan keseimbangan cairan dan tekanan osmotik sel (natrium, kalium), hingga aktivasi enzim dan transmisi saraf (magnesium, zat besi). Karena tubuh tidak dapat mensintesis mineral secara mandiri, asupannya diperoleh dari air minum dan makanan ((FAO), 2004). Dalam konteks penyeduhan kopi, mineral yang terlarut dalam air seduhan bukan sekadar kontaminan anorganik, melainkan variabel aktif yang secara langsung memengaruhi proses ekstraksi senyawa flavor dari bubuk kopi. Di antara seluruh mineral yang relevan, ion Magnesium (Mg^{2+}) dan ion Kalsium (Ca^{2+}) memiliki peran paling signifikan dan menjadi fokus penelitian ini.

II.2.1 Magnesium (Mg^{2+})

Magnesium adalah mineral esensial yang terlibat dalam lebih dari 300 reaksi enzimatik dalam tubuh manusia, mencakup sintesis protein, fungsi saraf dan otot, regulasi kadar glukosa darah, serta pengendalian tekanan darah (Marfu et al., 2020). Dalam industri specialty coffee, Magnesium dianggap sebagai mineral paling krusial karena kemampuannya mengekstraksi senyawa flavor yang kompleks dari bubuk kopi secara selektif.



Gambar II.5. Magnesium Sulfat ($MgSO_4$)

(Sumber: (Marfu et al., 2020))

Secara kimiawi, ion (Mg^{2+}) merupakan kation berukuran kecil dengan densitas muatan (*charge density*) yang sangat tinggi. Sifat ini memberikannya afinitas yang kuat terhadap senyawa polar yang kaya atom oksigen, termasuk asam organik (asam sitrat, malat, dan klorogenat) serta gula terlarut (glukosa dan fruktosa) yang terkandung dalam kopi (Hendon et al., 2014). Dari sisi dampak sensorik, suplementasi (Mg^{2+}) yang tepat terbukti meningkatkan intensitas keasaman (*acidity*) yang segar dan kemanisan (*sweetness*) seduhan, serta sangat efektif dalam mengangkat karakter buah tropis pada kopi natural seperti Kopi Jawa Preanger yang digunakan dalam penelitian ini. Namun, konsentrasi (Mg^{2+}) yang berlebihan berisiko mengekstraksi asam klorogenat secara berlebih, yang dapat memunculkan sensasi *earthy* dan kepahitan yang tidak diinginkan.

Dalam penelitian ini, Magnesium disuplementasikan dalam bentuk Magnesium Sulfat (MgSO_4) karena kelarutannya yang tinggi dalam air dan stabilitasnya pada suhu penyeduhan, sehingga memudahkan pengendalian konsentrasi secara presisi.

Densitas Muatan Tinggi: Ion Mg^{2+} memiliki jari-jari ionik yang kecil (0.72 Angstorm) (1 angstorm = 100 pm (piknometer)) namun memiliki muatan +2. Hal ini menciptakan densitas muatan yang sangat tinggi dibandingkan kalsium 1.00 Angstorm. Energi Ikatan (Binding Energy) Dalam simulasi dinamika molekul, magnesium menunjukkan energi ikat yang lebih tinggi terhadap gugus fungsi asam organik seperti asam sitrat, asam malat, dan asam quinat. Karena tarikan elektrostatik yang kuat ini, magnesium mampu mencungkil molekul-molekul asam ini dari struktur selulosa kopi yang padat ke dalam pelarut (air). Karena asam sitrat dan malat adalah pembawa utama profil rasa jeruk, beri, dan buah-buahan lainnya, air yang kaya magnesium secara selektif menonjolkan kecerahan (*brightness*) dan karakter *fruity* (Hendon et al., 2014).

II.2.2 Kalsium (Ca^{2+})

Kalsium merupakan mineral makro yang paling melimpah dalam tubuh manusia, dengan sekitar 70% massa tulang tersusun dari kristal kalsium fosfat. Kalsium berperan esensial dalam pertumbuhan linier, kontraksi otot, transmisi impuls saraf, dan pembekuan darah (Marfu et al., 2020). Dalam konteks penyeduhan kopi, ion (Ca^{2+}) bekerja pada dimensi yang berbeda dari (Mg^{2+}), yaitu memengaruhi struktur fisik dan tekstur seduhan.



Gambar II.6. Kalsium Klorida (CaCl_2)

(Sumber: (Marfu et al., 2020))

Secara kimiawi, (Ca^{2+}) memiliki jari-jari ion yang lebih besar dibandingkan (Mg^{2+}) sehingga densitas muatannya lebih rendah. Akibatnya, (Ca^{2+}) cenderung berikatan dengan molekul yang lebih besar dan kurang polar, termasuk komponen lipid dan senyawa padat yang memberikan viskositas pada cairan seduhan (Navarini, L., 2010), (SCA, 2021). Dari sisi dampak sensorik, suplementasi (Ca^{2+}) yang tepat berkontribusi dalam membangun *body* (kekentalan) dan *mouthfeel* (tekstur di mulut) yang lebih penuh, sehingga mencegah seduhan terasa encer dan tipis. Namun, konsentrasi (Ca^{2+}) yang terlalu tinggi akan menyebabkan rasa pahit yang tajam dan meninggalkan sensasi kapur (*chalkiness*) yang tidak diinginkan, sekaligus menutup nuansa aroma halus kopi.

Kalsium memiliki kecenderungan lebih besar untuk berikatan dengan senyawa yang memiliki rantai karbon panjang, termasuk lipid (lemak kopi) dan sisa-sisa protein, kalsium juga sering bertindak sebagai Jembatan Ionik (*Ionic Bridging*) yaitu jembatan antara molekul-molekul organik yang bermuatan negatif (seperti pektin atau polisakarida). Ini menyebabkan terbentuknya agregat molekul yang lebih besar di dalam larutan.

Keberadaan kompleks kalsium-lipid ini meningkatkan viskositas cairan. Di lidah, cairan yang lebih kental dan mengandung lebih banyak padatan terlarut (TDS) yang

terikat pada lemak akan memberikan sensasi "berat" atau *creamy*. Inilah yang membentuk aspek *body* pada kopi, Namun kalsium juga efisien dalam menarik senyawa fenolik dan alkaloid yang lebih berat. Jika kadarnya terlalu tinggi, kalsium akan mengekstraksi komponen pahit yang menutupi (masking) rasa buah yang ditarik oleh magnesium.

Dalam penelitian ini, kalsium disuplementasikan dalam bentuk Kalsium Klorida (CaCl_2) karena senyawa ini memiliki kelarutan yang sangat tinggi dalam air dingin maupun panas, tidak mengubah pH air secara signifikan, dan merupakan sumber Ca^{2+} yang umum direkomendasikan dalam standar preparasi air seduhan kopi *specialty*.

Bab III METODOLOGI PENELITIAN

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

III.1 Bahan dan Alat

III.1.1 Bahan – Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam proses penelitian ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu bahan utama dan bahan penunjang. Bahan Utama yang digunakan yaitu Magnesium Sulfat (MgSO_4), dan kalsium klorida (CaCl_2) dan Kopi Jawa Preanger (Bourbon). Bahan analisis yang digunakan sebagai berikut : Kalium klorida (KCl), Buffer PH 7 dan PH 4, Natrium Klorida (NaCl).

III.1.2 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan yaitu: Neraca digital (*coffee scale*, CK2150, China), Neraca analitik (Ohaus Pioneer, PX224, Amerika Serikat), Grinder kopi (Breville, BCG820BBS, Australia), Batch Brew (Black Decker, B101, China), Paper filter kopi no3, Server kopi (Approx, XGS-80TB, China), Air destilasi, Botol timbang, Labu ukur 100 mL, Batang Pengaduk, Spatula, PH Meter (Houston, TX77084, Amerika Serikat), Gelas Kimia, TDS Meter (Xiaomi, XMTDS01YM, China), Thermometer, Tisu.

III.2 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan dengan metode *Response Surface Methodology* (RSM) untuk optimasi Suplementasi Kalsium Klorida (CaCl_2) dan Magnesium Sulfat (MgSO_4), RSM dipilih karena mampu mengevaluasi pengaruh simultan dan interaksi antar beberapa variabel independen seperti suhu air, agitasi, serta kesalahan waktu kontak antara air dan kopi.

Dalam penelitian ini, data yang dikumpulkan berupa konsentrasi Kalsium Klorida (CaCl_2) dan Magnesium Sulfat (MgSO_4) untuk mengoptimalkan rasa kopi yang

tertahan karena karena vaktor independen. Data tersebut akan dianalisis menggunakan perangkat lunak Design Expert untuk membangun model prediktif, melakukan analisis varians (ANOVA), dan menghasilkan grafik kontur serta permukaan respon. Langkah-langkah ini bertujuan untuk mengidentifikasi kombinasi variabel yang paling efektif dalam memunculkan rasa kopi yang maksimal.

III.2.1 Penelitian Utama

Penelitian utama dilakukan bertujuan untuk menentukan konsentrasi yang optimal agar dapat mengeluarkan karakteristik inderawi yang maksimal pada kopi jawa preanger. Penelitian utama terdiri dari rancangan perlakuan, rancangan percobaan, rancangan analisis, dan rancangan respon.

III.2.2 Rancangan Perlakuan

Rancangan perlakuan pada penelitian ini memiliki dua faktor yaitu perbandingan konsentrasi magnesium sulfat (MgSO_4) dan kalsium klorida (CaCl_2).

III.2.3 Rancangan Percobaan

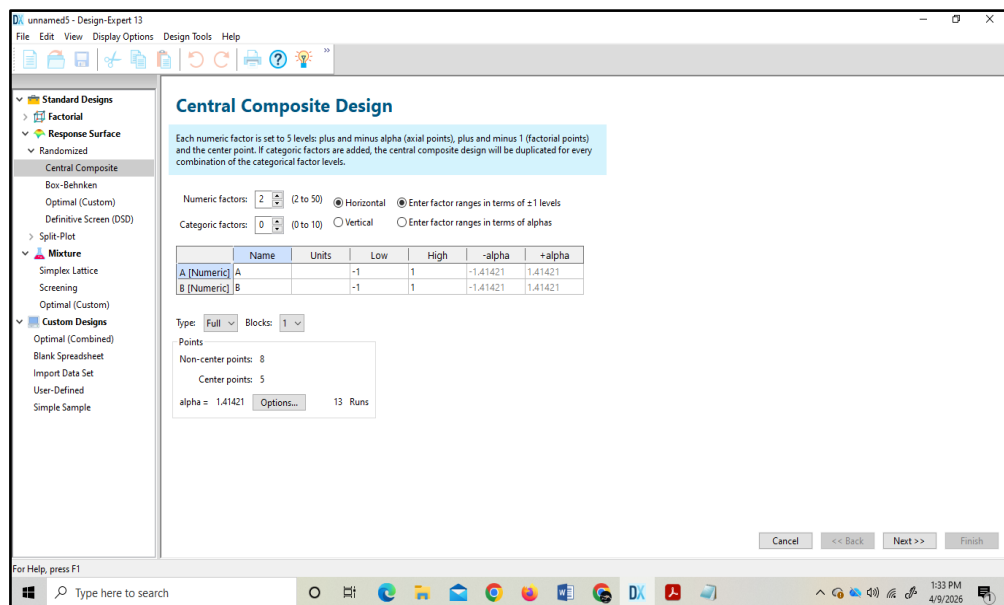
Rancangan percobaan dalam penelitian ini menggunakan *Central Composite Design* (CCD) sebagai bagian dari pendekatan *Response Surface Methodology* (RSM). *Central Composite Design* (CCD) dirancang untuk mengoptimalkan proses dengan memodelkan hubungan kuadratik non-linier dengan jumlah percobaan yang lebih sedikit daripada desain faktorial penuh.

Penggunaan *Central Composite Design* (CCD) sangat tepat karena variabel yang digunakan terdiri dari:

- Konsentrasi Magnesium (45 – 100 ppm)
- Konsentrasi kalsium (45 – 100 ppm)

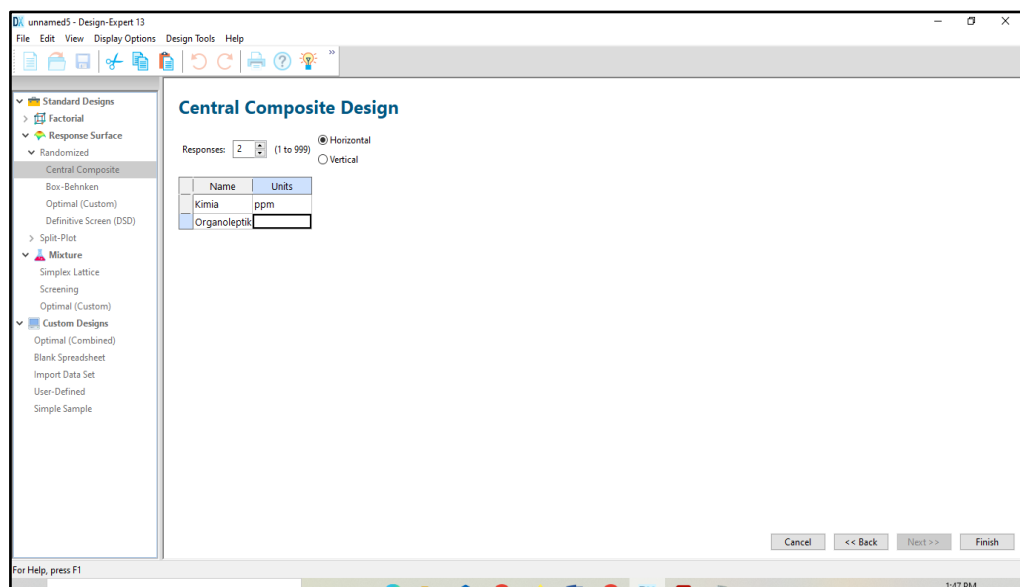
Desain percobaan akan dibuat menggunakan software Design Expert. Dalam proses ini akan dilakukan beberapa tahap sebagai berikut:

1. Input 2 faktor yang meliputi jenis Konsentrasi Magnesium Sulfat (MgSO_4) dan Konsentrasi Kalsium Clorida (CaCl_2) lalu tentukan batas bawah dan atas untuk setiap faktor numerik, lalu klik bagian *next*



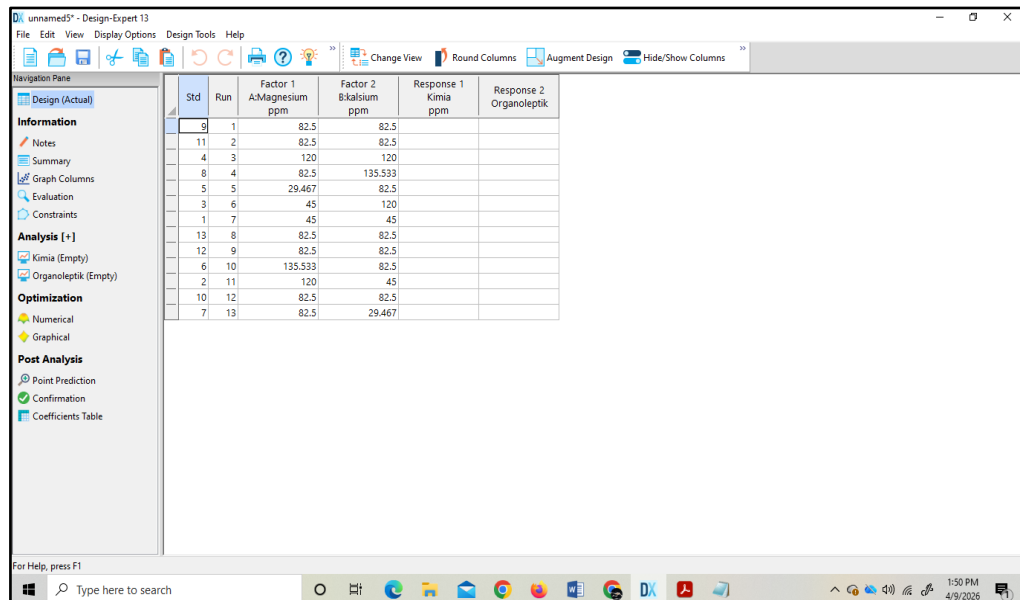
Gambar III.1. Penginputan Faktor Percobaan serta Batas Atas dan Bawah

2. Masukkan respon yang di gunakan, lalu klik *finish*



Gambar III.2. Penginputan Respon yang Digunakan

3. Menghasilkan kombinasi run secara otomatis yang akan digunakan dalam eksperimen laboratorium.

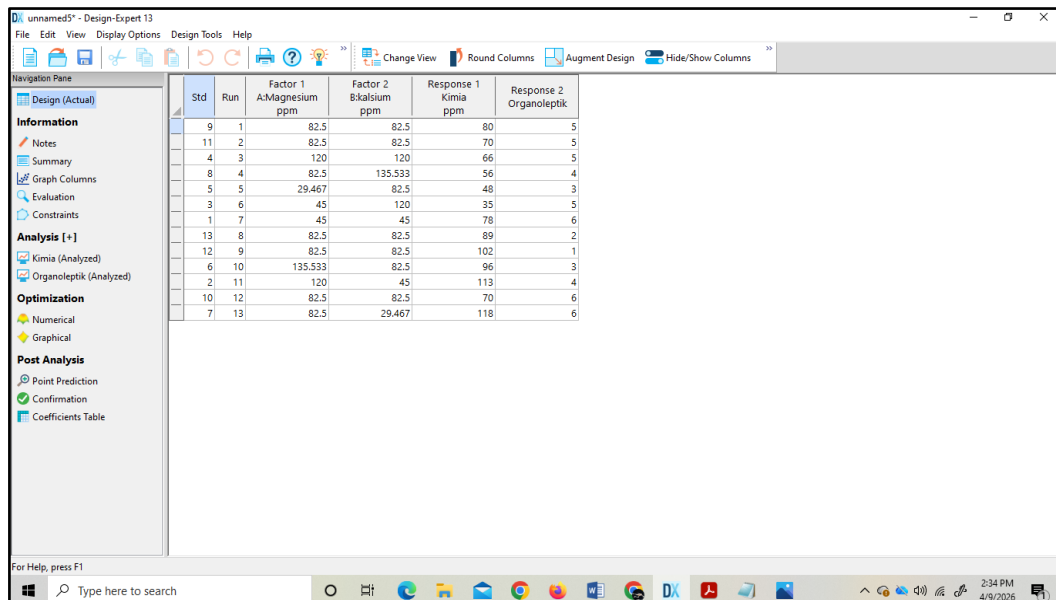


The screenshot shows the Design-Expert 13 interface with a table of automatically generated runs. The table has columns for Std, Run, Factor 1 A:Magnesium ppm, Factor 2 B:kalsium ppm, Response 1 Kimia ppm, and Response 2 Organoleptik. The table contains 13 rows of data.

Std	Run	Factor 1 A:Magnesium ppm	Factor 2 B:kalsium ppm	Response 1 Kimia ppm	Response 2 Organoleptik
9	1	82.5	82.5		
11	2	82.5	82.5		
4	3	120	120		
8	4	82.5	135.533		
5	5	29.467	82.5		
3	6	45	120		
1	7	45	45		
13	8	82.5	82.5		
12	9	82.5	82.5		
6	10	135.533	82.5		
2	11	120	45		
10	12	82.5	82.5		
7	13	82.5	29.467		

Gambar III.3. Kombinasi *Run* secara Otomatis

4. *Input* data hasil penelitian laboratorium pada kolom respon

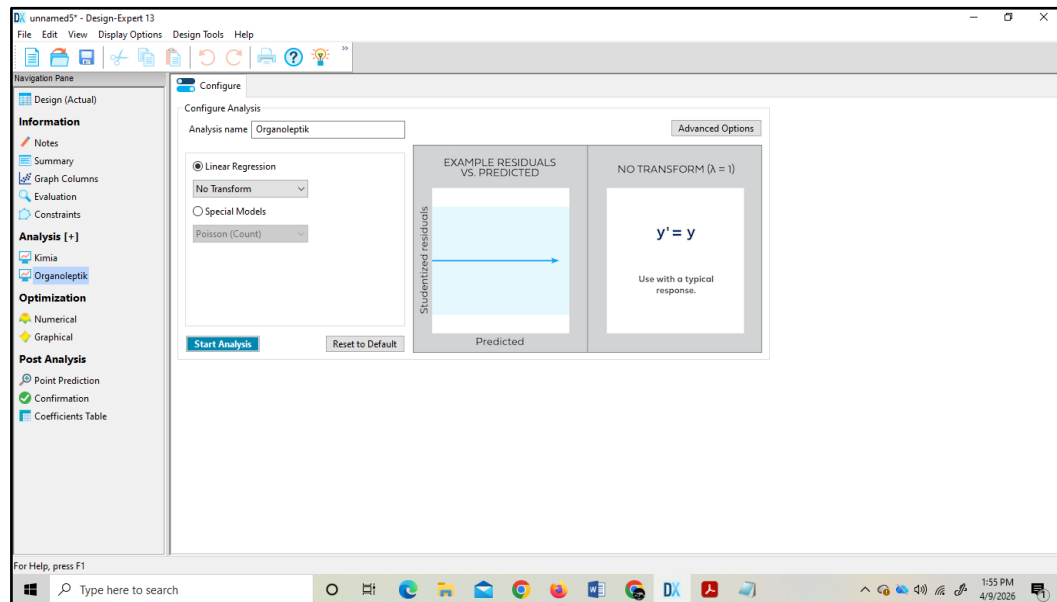


The screenshot shows the Design-Expert 13 interface with the same table as in Gambar III.3, but with additional data entered in the Response 1 and Response 2 columns. The table now contains 13 rows of data with response values.

Std	Run	Factor 1 A:Magnesium ppm	Factor 2 B:kalsium ppm	Response 1 Kimia ppm	Response 2 Organoleptik
9	1	82.5	82.5	80	5
11	2	82.5	82.5	70	5
4	3	120	120	66	5
8	4	82.5	135.533	56	4
5	5	29.467	82.5	48	3
3	6	45	120	35	5
1	7	45	45	78	6
13	8	82.5	82.5	89	2
12	9	82.5	82.5	102	1
6	10	135.533	82.5	96	3
2	11	120	45	113	4
10	12	82.5	82.5	70	6
7	13	82.5	29.467	118	6

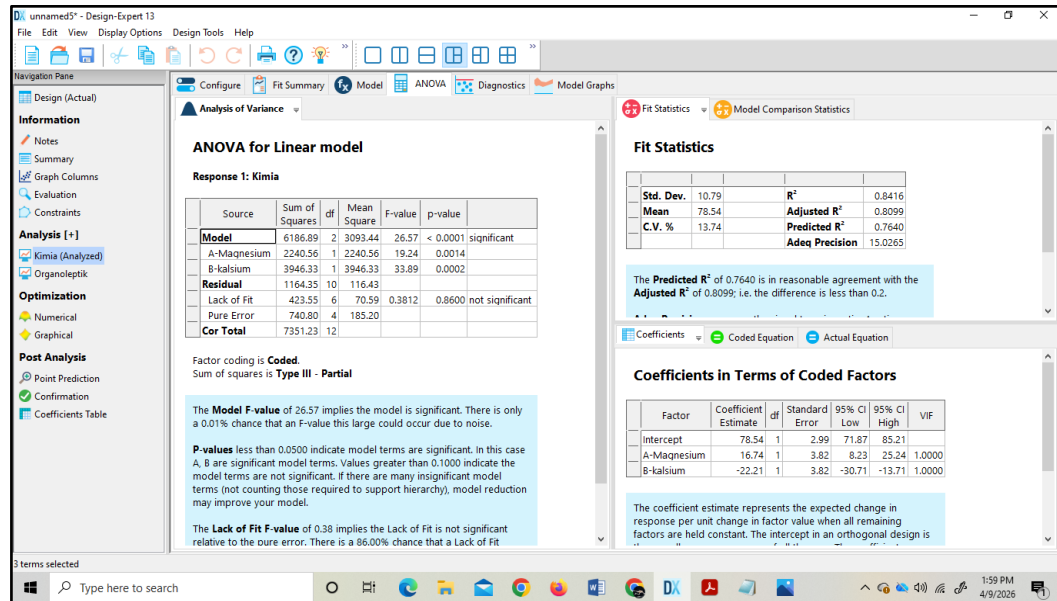
Gambar III.4. Input Data Hasil Penelitian

5. Klik pada bagian *Analysis* lalu Klik pada bagian respon lalu *start analysis*



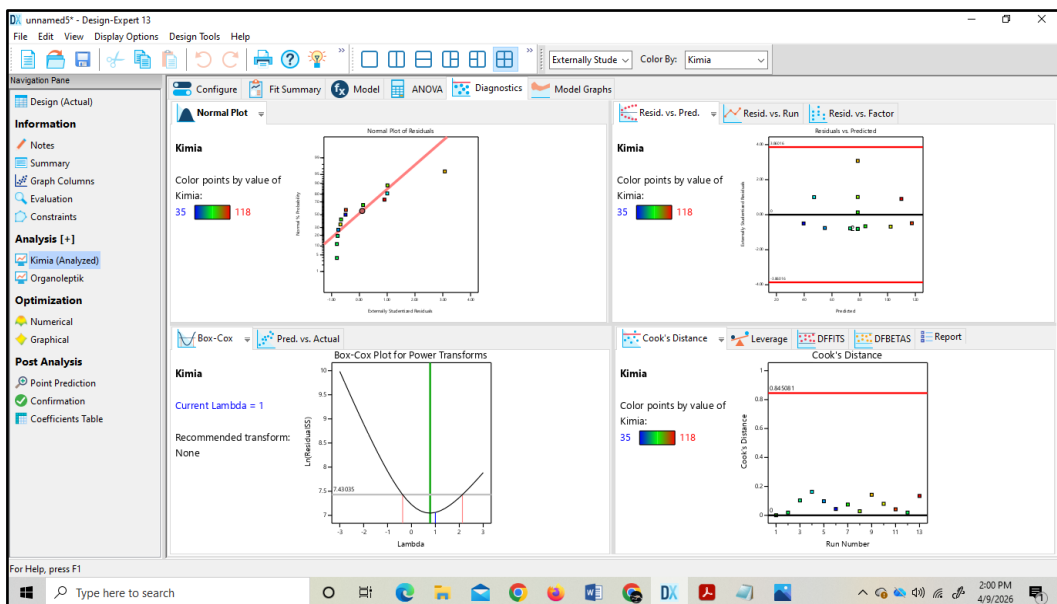
Gambar III.5. Memulai Analisis per Respon

6. Menghasilkan Tabel Analisis ANOVA



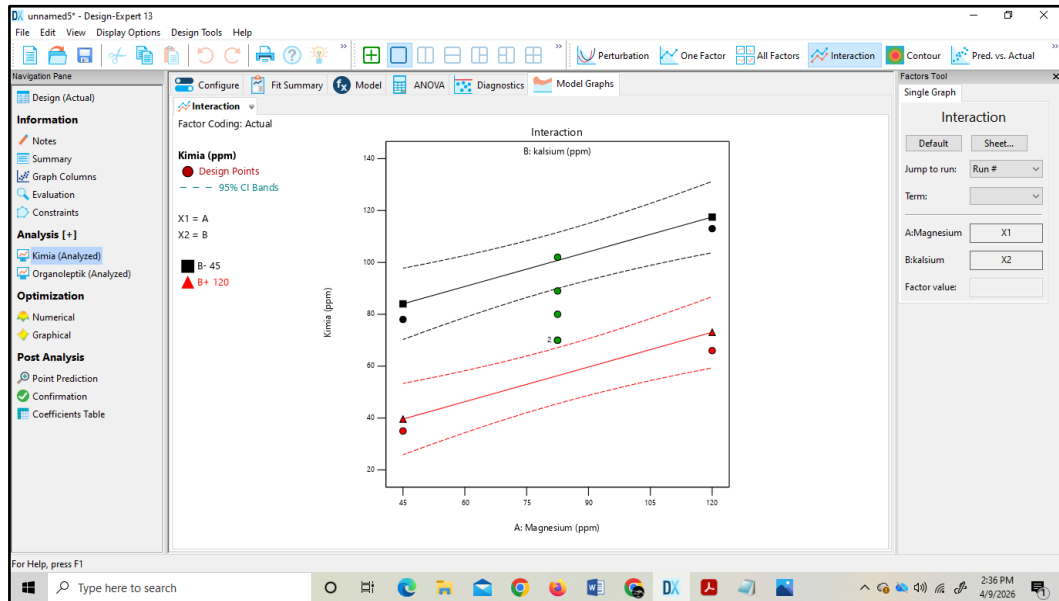
Gambar III.6. Tabel ANOVA dari Data yang Dianalisis

7. Menghasilkan Uji Diagnostik Model



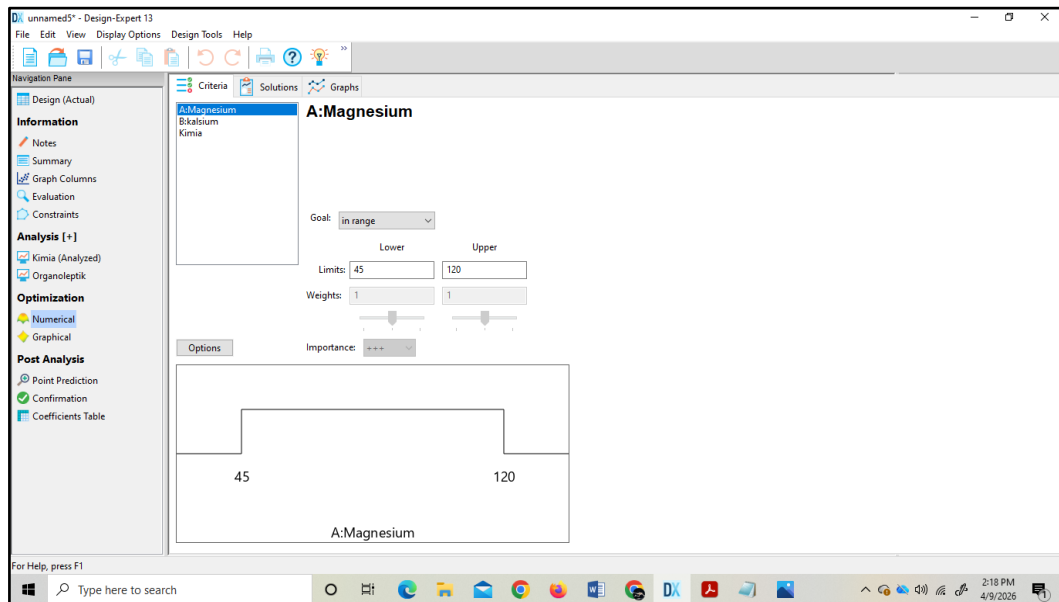
Gambar III.7. Uji Diagnostik Model

8. Menghasilkan Visualisasi Hubungan Antar Faktor



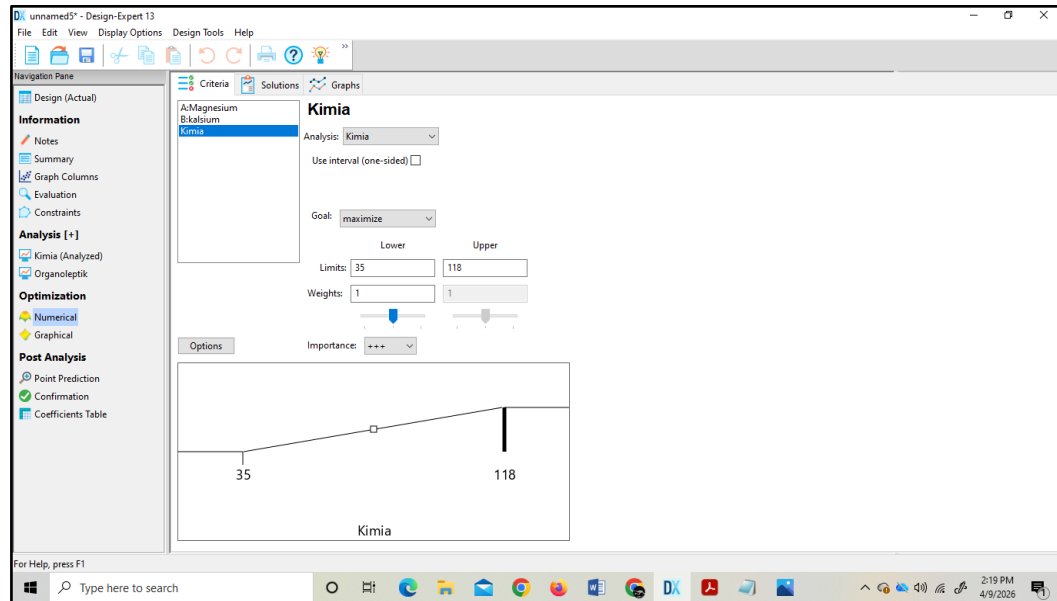
Gambar III.8. Visualisasi Hubungan Antar Faktor

9. Optimasi Kombinasi Perlakuan dengan mengakses *Numerical Optimization*



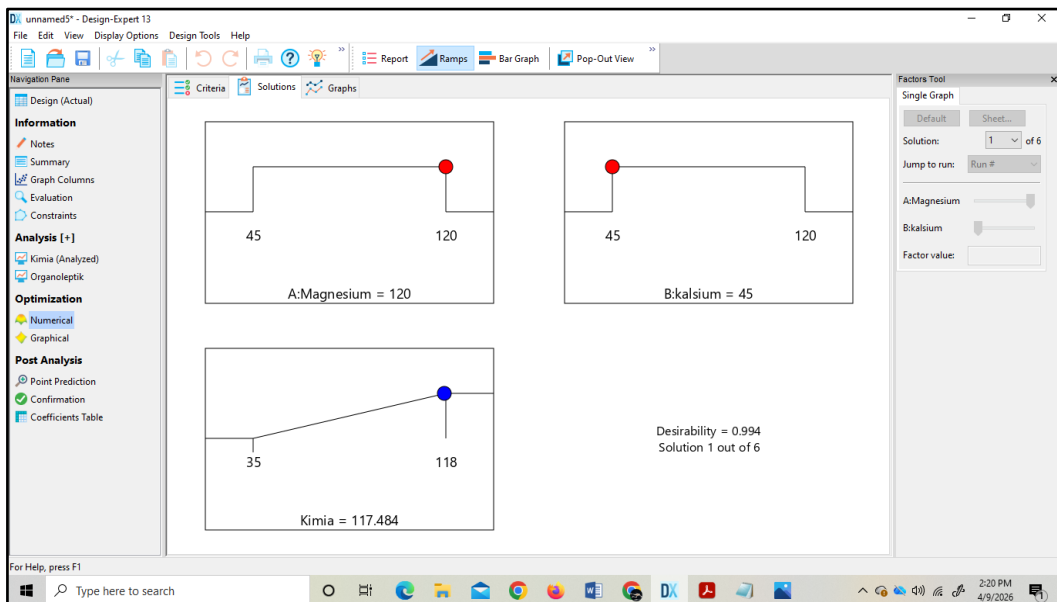
Gambar III.9. Optimasi Kombinasi Perlakuan

10. *Input goals* setiap factor



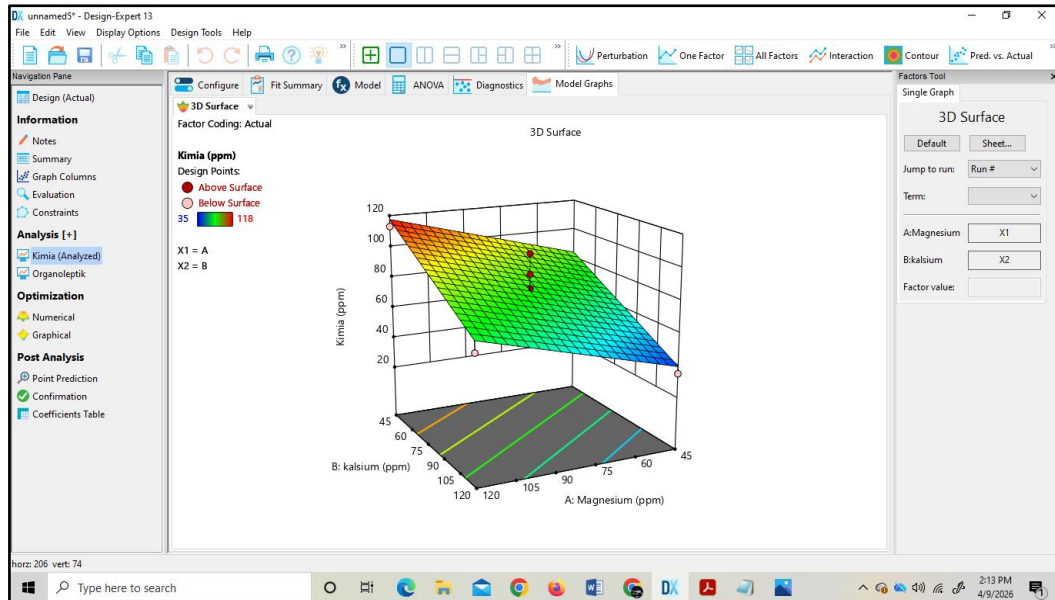
Gambar III.10. Input Goals Setiap Faktor

11. Menghasilkan nilai *desirability*

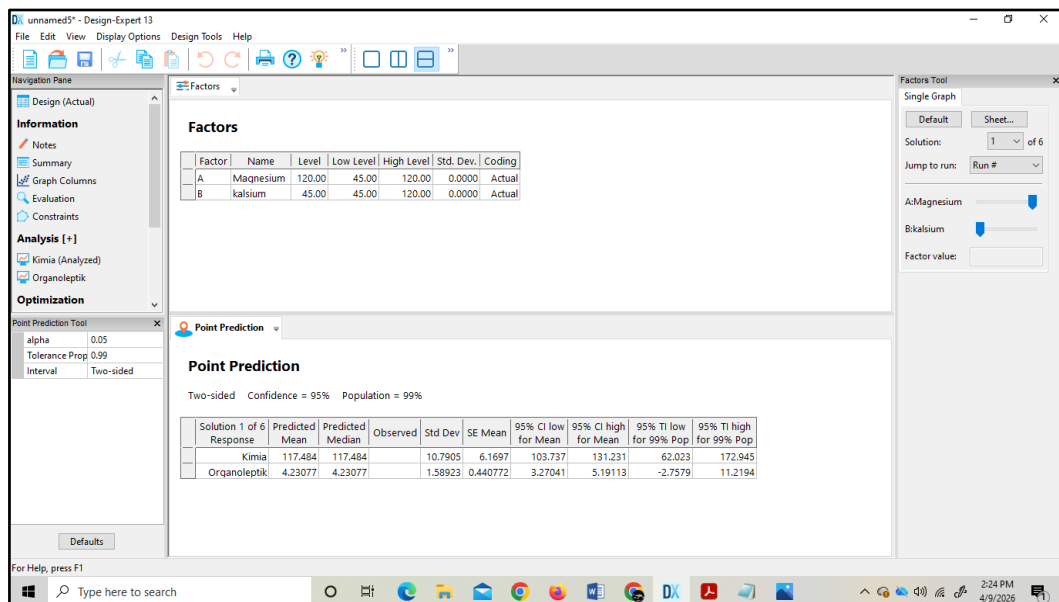


Gambar III.11. Nilai Desirability

12. Menghasilkan solusi kombinasi optimum: Konsentrasi Magnesium Sulfat (MgSO_4) dan Kalsium Klorida (CaCl_2)



Gambar III.12. Grafik Countour 3D



Gambar III.13. Point Prediksi Respon (log reduksi)

Dengan nilai prediksi log reduksi respon. sebagai contoh, saat memasukkan 2 jenis mineral (kategorik), konsentrasi (45-120ppm), ke dalam *Design Expert*, perangkat

lunak akan menyarankan jumlah percobaan (*run*) yang minimal namun tetap akurat untuk menghasilkan model prediktif berkualitas tinggi. Ini akan menghasilkan desain eksperimen efisien yang dapat langsung diterapkan untuk pengujian di laboratorium.

III.2.4 Rancangan Analisis

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan statistik berbasis metode *Response Surface Methodology* (RSM) melalui bantuan perangkat lunak *Design Expert v13*. Tujuan utama dari analisis ini adalah untuk memodelkan dan mengevaluasi hubungan antara variabel bebas (Konsentrasi Magnesium Sulfat dan Konsentrasi Kalsium klorida) terhadap Kopi jawa preanger

1. Hubungan antara variabel independen (X1: Magnesium Sulfat dan X2: Kalsium Klorida) terhadap respon (Y: pH, TDS, Skor Sensorik) akan dianalisis menggunakan persamaan regresi kuadratik: $Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \sum \beta_{ii} X_i^2 + \sum \beta_{ij} X_i X_j$

- β_0 = Konstanta
- β_i = Koefisien Linier
- β_{ii} = Koefisien Kuadratik (untuk melihat lengkungan / kurva respon)
- β_{ij} = Koefisien Interaksi (untuk melihat apakah $MgSO_4$ dan $CaCl_2$ bekerja bersamaan mempengaruhi rasa)

2. Uji Signifikansi (ANOVA - Analysis of Variance)

Uji ANOVA digunakan untuk mengevaluasi :

- Apakah model secara keseluruhan signifikan,
- Faktor mana yang paling berpengaruh terhadap respon,
- Nilai p-value, F-value, dan Lack of Fit menjadi indikator utama kelayakan model.
- Model dikatakan valid jika p-value < 0,05 dan Lack of Fit tidak signifikan.

Visualisasi Interaksi antar Faktor (Plot Kontur & Permukaan Respon) Perangkat lunak Design Expert akan menghasilkan grafik 2D (contour plot) dan 3D (surface plot) untuk masing-masing respon, yang menggambarkan interaksi antara dua variabel terhadap:

- Konsentrasi Magnesium Sulfat (MgSO_4) (ppm)
- Log reduksi sel planktonic (CaCl_2) (ppm)

3. Validasi model

Titik optimal yang dihasilkan dari simulasi akan diuji dengan data aktual (run tambahan atau replikasi). Hasil prediksi dibandingkan dengan hasil eksperimen untuk mengukur akurasi model.

III.2.5 Rancangan Respon

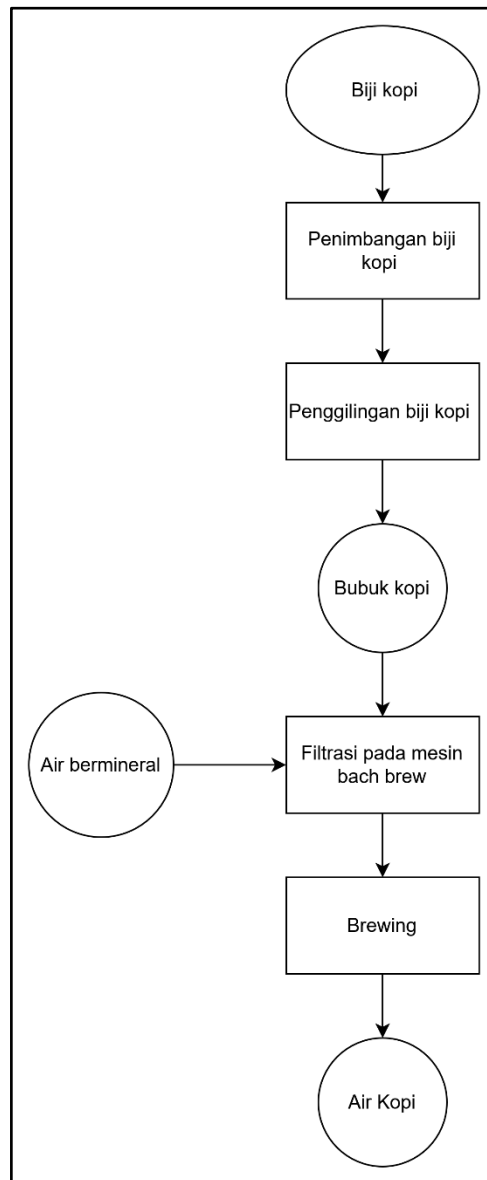
Rancangan respon yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah respon kimia dan respon organoleptik.

1. Respon Kimia terhadap flavor ionic pada kopi meliputi analisis PH dan *Total Disolved Solid* (TDS).
2. Respon Organoleptik yang digunakan adalah Uji Deskriptif atribut yang diuji meliputi kualitas dan intensitas Flavor, Aftertaste, Acidity, Mouthfeel, Aroma dengan numerik intensitasi 1-6 dengan keterangan (1-2 *Low*, 3-4 *Medium*, 5-6 *High*) dan intensitas kualitas yaitu rasa dengan keterangan Aroma: (*Floral, Fruity, Berry, Dried, Fruit, Citrus, Fruit Sour/Fermented, Sour Fermented Green/Vegetative, Other, Chemical, Musty/Earthy, Woody, Roasted, Cereal, Burnt, Tobacco, Nutty/Cocoa, Nutty, Cocoa, Spice, Sweet, Vanilla/Vanillin, Brown Sugar. After Taste (Floral, Fruity, Berry, Dried, Fruit, Citrus, Fruit Sour/Fermented, Sour Fermented Green/Vegetative, Other, Chemical, Musty/Earthy, Wood Roasted, Cereal, Burnt, Tobacco, Nutty/Cocoa, Nutty, Cocoa, Spice, Sweet, Vanilla/Vanillin, Brown Sugar, Dan main taste (salty, sour, sweet, bitter, umami). Mouthfeel : Rough (Gritty, Chalky, Sandy), Oily, Smooth (velvery, silky, syrupy), Mouth-Drying, Metallic*

III.3 Prosedur Penelitian

III.3.1 Prosedur Pembuatan Air Kopi

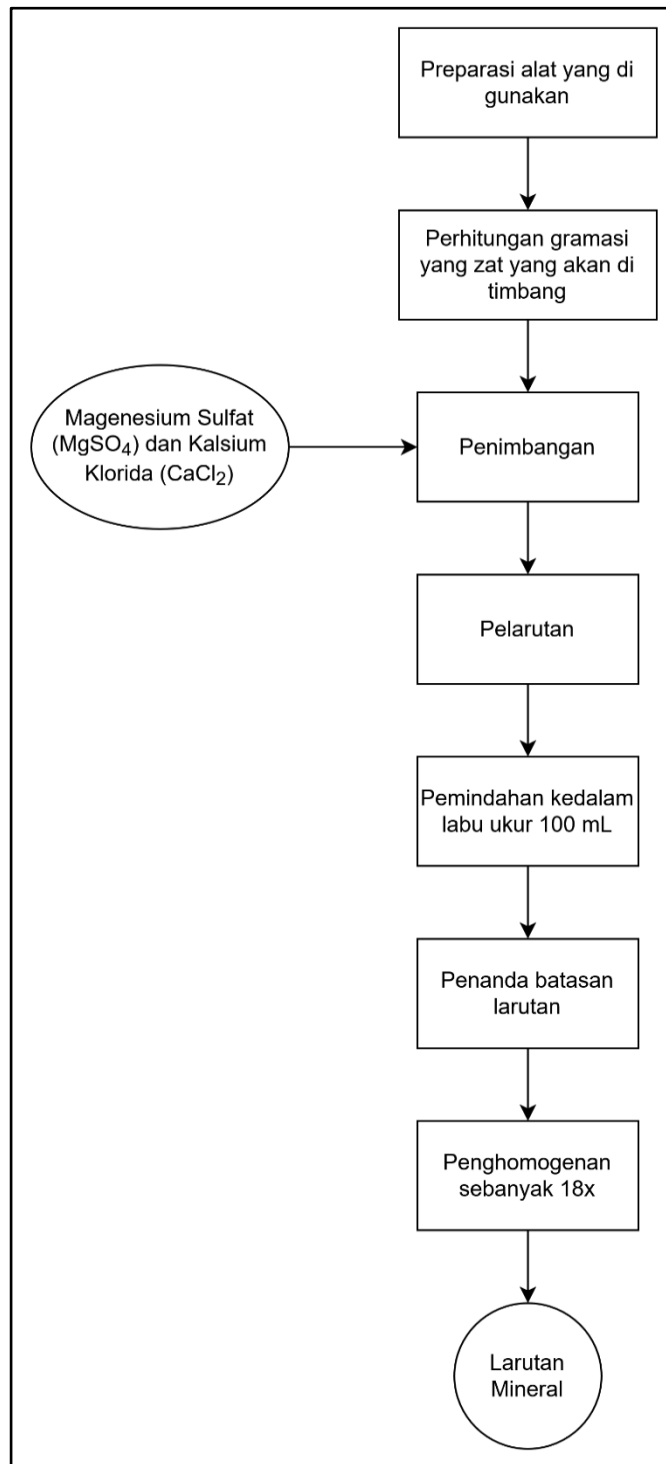
1. Biji kopi disiapkan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.
2. Biji kopi ditimbang sebanyak 12 gram menggunakan timbangan analitik.
3. Grinder diatur pada tingkat kehalusan *medium to coarse* sebelum proses penggilingan dilakukan.
4. Biji kopi yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam grinder.
5. Biji kopi digiling hingga diperoleh bubuk kopi dengan ukuran partikel yang seragam.
6. Bubuk kopi yang telah digiling dimasukkan ke dalam filter batch brew.
7. Air yang telah disuplementasi dengan mineral pada konsentrasi yang ditentukan disiapkan sesuai perlakuan.
8. Air yang telah disuplementasi dimasukkan ke dalam tangki mesin batch brew.
9. Mesin batch brew dinyalakan dan proses penyeduhan dibiarkan berlangsung hingga selesai.
10. Seduhan kopi yang dihasilkan ditampung ke dalam server kopi dan siap untuk dianalisis.



Gambar III.14. Diagram Alir Pembuatan Air Kopi

III.3.2 Prosedur Pembuatan Larutan Mineral

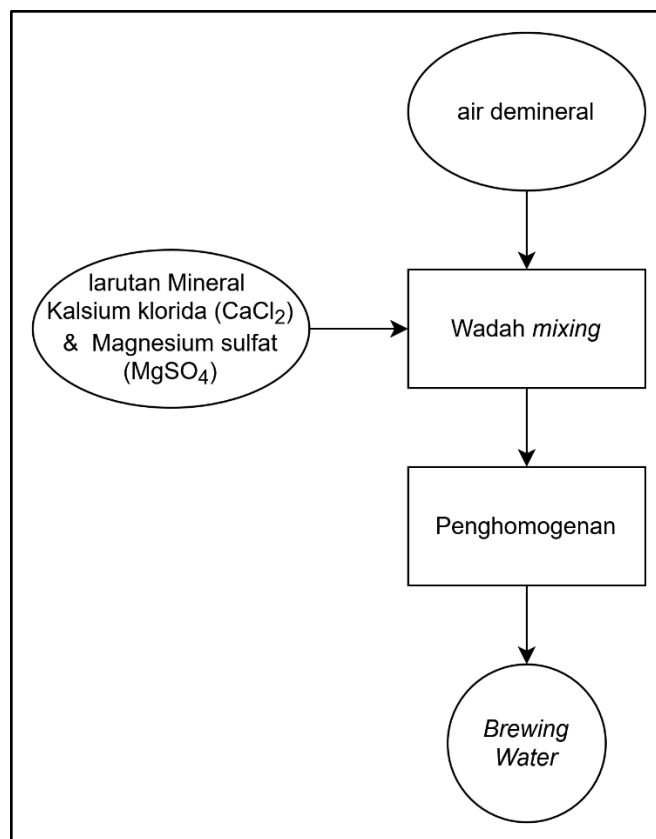
1. Seluruh alat gelas yang akan digunakan dibilas terlebih dahulu dengan aquadest untuk menghindari kontaminasi.
2. Massa MgSO_4 dan CaCl_2 yang diperlukan dihitung berdasarkan konsentrasi target (ppm) untuk volume larutan 100 mL menggunakan rumus pengenceran.
3. Botol timbang dan spatula disiapkan, kemudian masing-masing sampel ditimbang sesuai massa yang telah dihitung menggunakan neraca analitik.
4. Sampel yang telah ditimbang dilarutkan di dalam botol timbang dengan sejumlah aquadest hingga seluruh padatan terlarut sempurna.
5. Larutan dipindahkan ke dalam labu ukur 100 mL menggunakan corong gelas dan batang pengaduk, disertai pembilasan botol timbang dengan aquadest beberapa kali untuk memastikan tidak ada residu yang tertinggal.
6. Aquadest ditambahkan ke dalam labu ukur hingga volume mendekati tanda batas.
7. Bagian leher labu ukur diseka menggunakan batang pengaduk yang dilap dengan kertas isap untuk menghindari tetesan yang dapat memengaruhi akurasi volume.
8. Aquadest ditambahkan secara perlahan menggunakan pipet tetes hingga meniskus bawah tepat menyentuh tanda batas 100 mL.
9. Labu ukur ditutup dan larutan dihomogenkan secara perlahan dengan cara membolak-balik labu sebanyak 15 kali hingga larutan tercampur merata.



Gambar III.15. Diagram Alir Pembuatan Larutan Mineral

III.3.3 Prosedur Pembuatan *Brewing Water*

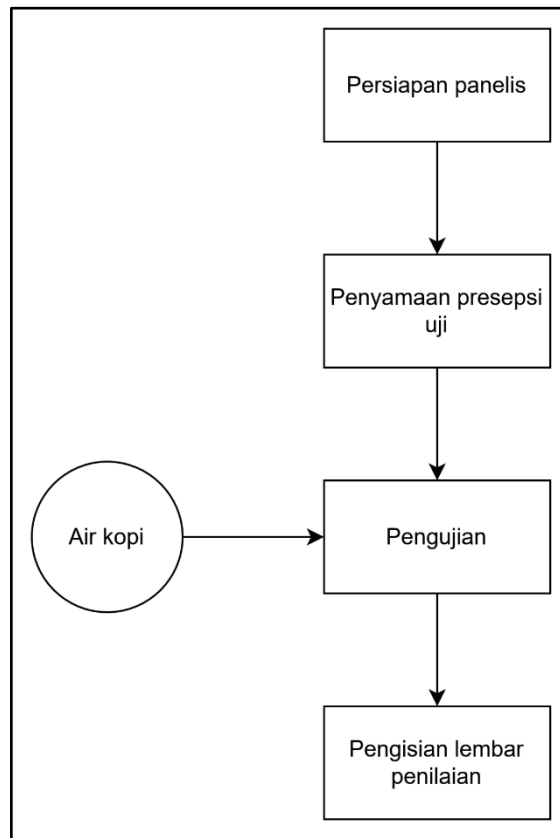
1. Air demineral disiapkan dan ditempatkan di dalam wadah bersih yang telah dibilas dengan aquadest.
2. Larutan mineral Kalsium Klorida (CaCl_2) dan Magnesium Sulfat (MgSO_4) ditambahkan ke dalam air demineral sesuai dengan konsentrasi perlakuan yang telah ditentukan.
3. Campuran diaduk secara perlahan hingga seluruh larutan mineral terdistribusi secara homogen.
4. Air bermineral yang telah homogen selanjutnya digunakan sebagai air seduhan kopi sesuai perlakuan penelitian.



Gambar III.16. Diagram Alir Pembuatan *Brewing Water*

III.3.4 Prosedur Organoleptik (Uji Deskriptif)

1. Seleksi calon panelis: diberikan larutan rasa dasar dengan konsentrasi sangat rendah. Hanya mereka yang bisa menebak 80-100% dengan benar yang dipilih.
2. *Brainstorming* (unsur deskriptif): panelis diberikan sampel produk (misal: kopi atau snack). Mereka diminta menuliskan semua kata sifat yang mereka rasakan (misal: "pahit seperti cokelat", "sepas", "aroma tanah").
3. Penyaringan atribut : dari puluhan kata yang muncul, pilih yang paling relevan (biasanya 5–8 atribut utama) untuk dijadikan poin penilaian di lembar scoresheet.
4. Pemberian Referensi: Jika atributnya adalah "Tingkat Pahit", panelis diberikan larutan kafein dengan konsentrasi tertentu sebagai patokan skor maksimal.
5. Pembersihan Indra: Panelis meminum air putih untuk menetralkan mulut.
6. Uji Aroma (Orthonasal): Mencium sampel terlebih dahulu. Biasanya dilakukan 2-3 kali hirupan pendek.
7. Uji Cicip (Gustatory): Mengambil sampel ke dalam mulut. Di metode deskriptif, sampel biasanya diratakan ke seluruh permukaan lidah untuk menangkap persepsi rasa di berbagai area sensor.
8. Uji Tekstur/*Mouthfeel*: Merasakan sensasi fisik (seperti kekentalan atau kekasaran) menggunakan langit-langit mulut.
9. *Aftertaste*: Menunggu sekitar 15–30 detik setelah sampel ditelan untuk merasakan sisa rasa yang tertinggal.
10. Pengisian lembar penilaian



Gambar III.17. Diagram alir prosedur uji deskriptif

III.4 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

Tabel III.1. Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No	Kegiatan	Bulan				
		Apr	Mei	Jun	Jul	Aug
1	Penyusunan Proposal dan Bimbingan					
2	Seminar Usulan Penelitian					
3	Pelaksanaan Penelitian					
4	Pengolahan Data dan Penyusunan Tugas Akhir					
5	Bimbingan Laporan Tugas Akhir					
6	Daftar Sidang Tugas Akhir					
7	Sidang Tugas Akhir					
8	Revisi Pasca Sidang					

Bab IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas mengenai, (4.1) Penelitian Utama, (4.2) Formulasi Optimal (4.3) Verifikasi Formulasi Optimal.

IV.1 Penelitian Utama

Pada penelitian digunakan rancangan dengan model *Response Surface Methodology* (RSM) dengan *Central Composite Design* (CCD). Rancangan ini digunakan untuk menentukan formulasi optimal kopi instan dengan kombinasi variabel diantaranya Magnesium Sulfat (MgSO_4) dan Kalsium Klorida (CaCl_2) kemudian dilakukan pengujian Respon kimia meliputi analisis padatan terlarut (TDS) dan analisis kadar pH dan respon organoleptik menggunakan pengujian deskriptif berupa aroma, *flavour*, *aftertaste*, *acidity*, *sweetness* dan *mouthfeel*.

Tabel IV.1. Formulasi Design Expert Variabel Bebas

Formula	MgSO_4 (ppm)	CaCl_2 (ppm)
1	120	45
2	120	100
3	83	83
4	83	136
5	83	83
6	45	120
7	83	83
8	30	83
9	83	83
10	83	83
11	45	45
12	136	83
13	83	30

IV.1.1 Analisis Respon Kimia

IV.1.1.1 Hasil Analisis Total Padatan Terlarut (TDS)

Kadar padatan terlarut dalam produk pangan merupakan faktor penting yang mempengaruhi kualitas suatu produk. Pengukuran parameter fisikokimia seperti Total Dissolved Solids (TDS) pada sampel seduhan menjadi indikator krusial dalam menentukan kualitas rasa. Hal ini sejalan dengan penelitian (Guinard et al., 2023) dalam *Journal of Food Science*, yang menyatakan bahwa nilai TDS mencerminkan brew strength (kekuatan seduhan) yang mengontrol intensitas sensoris seperti aroma, flavor, aftertaste, acidity, sweetness dan mouthfeel. Kandungan mineral awal pada air sangat krusial karena ion seperti Magnesium $MgSO_4$ dan Kalsium $CaCl_2$ bertindak sebagai pengikat rasa kopi dengan Rentang Ideal: 75 – 250 ppm.

- Titik Terbaik (Sweet Spot): 150 ppm
- < 50 ppm (Terlalu Rendah): Air kekurangan mineral pengikat, membuat ekstraksi tidak maksimal (under-extracted) dan kopi terasa asam tajam yang tidak nyaman.
- > 300 ppm (Terlalu Tinggi): Air sudah terlalu jenuh dengan mineral lain, sehingga ruang untuk rasa kopi larut menjadi sempit. Kopi akan terasa hambar, berat, dan pahit kapur.

Temuan eksperimental ini sejalan dengan studi pemodelan mekanika kuantum oleh Hendon et al. (2014) yang menyatakan bahwa kation terlarut seperti $MgSO_4$ dan $CaCl_2$ secara aktif meningkatkan efisiensi ekstraksi molekul organik kopi melalui afinitas energi ikatannya, menggeser batas kejenuhan larutan, serta meningkatkan total padatan terlarut di cangkir akhir. Korelasi positif antara kekerasan air dengan hasil ekstraksi fisikokimia kopi ini juga diperkuat oleh penelitian (Kyroglou et al., 2022), yang membuktikan bahwa optimasi total water hardness menggunakan ion bivalen berkorelasi langsung terhadap kenaikan parameter fisikokimia seduhan termasuk persentase TDS. Karakteristik fluktuasi nilai TDS ini menjadi krusial karena menurut (Guinard et al., 2023), nilai TDS adalah parameter paling dominan yang mengendalikan profil sensorik seduhan kopi (seperti persepsi bodi, keasaman, dan kepahitan); melalui kontrol presisi mineral air pembasuh, koordinat rasa kopi

dapat digerakkan menuju target sweet spot tanpa harus mengubah rasio kopi-air ataupun suhu ekstraksi. Berdasarkan hasil analisis Total Padatan Terlarut dengan perlakuan penambahan Magnesium Sulfat (MgSO_4) dan Kalsium Klorida (CaCl_2) di dapatkan hasil pada tabel 4 sebagai berikut.

Tabel IV.2. Hasil Analisis Total Padatan Terlarut (TDS)

Formula	MgSO_4 (ppm)	CaCl_2 (ppm)	Analisis TDS
1	120	45	165
2	120	100	241
3	83	83	167
4	83	136	219
5	83	83	167
6	45	120	165
7	83	83	167
8	30	83	112
9	83	83	166
10	83	83	166
11	45	45	90
12	136	83	219
13	83	30	113

Berdasarkan data hasil pengujian yang tertera pada tabel 4, nilai *Total Dissolved Solids* (TDS) dari 13 formula menunjukkan variasi kekuatan seduhan yang signifikan akibat penambahan mineral air penyeduh. Nilai TDS terendah diperoleh pada Formula 11 sebesar (90 ppm), yang dikondisikan dengan kombinasi kadar mineral paling rendah, yaitu MgSO_4 (45 ppm) dan CaCl_2 (45 ppm). Sebaliknya, nilai TDS tertinggi dicapai oleh Formula 2 sebesar (241 ppm) dengan aplikasi konsentrasi komponen mineral yang tinggi MgSO_4 (120 ppm) dan CaCl_2 (100 ppm). Sementara itu, kelompok formula yang berada pada titik pusat (center points)

yaitu Formula 3, 5, 7, 9, dan 10 menggunakan kombinasi tetap MgSO_4 (83 ppm) dan CaCl_2 (83 ppm) menghasilkan konsistensi nilai TDS yang sangat stabil dan seragam pada rentang 166–167 ppm. Secara menyeluruh, tren data mengindikasikan adanya korelasi positif linear di mana semakin tinggi konsentrasi ion magnesium dan kalsium yang diinjeksikan ke dalam air pembasuh, maka nilai TDS akhir pada produk seduhan kopi Java Preanger natural akan meningkat secara proporsional.

Tabel IV.3. ANOVA Analisis Total Padatan Terlarut

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
	Model	22745.47	2	11372.73	32915.75	< 0.0001	significant
	A-MgSO ₄	11425.34	1	11425.34	33068.00	< 0.0001	
	B-CaCl ₂	11318.73	1	11318.73	32759.44	< 0.0001	
	Residual	3.46	10	0.3455			
	Lack of Fit	2.26	6	0.3759	1.25	0.4322	not significant
	Pure Error	1.20	4	0.3000			
	Cor Total	22748.92	12				

Model polinomial yang disarankan oleh software Design Expert untuk TDS adalah linear pada tabel ANOVA menunjukkan bahwa pada taraf 5% model linear yang direkomendasikan adalah significant, dengan nilai P adalah < 0,0001 Maka “Prob>F” atau P lebih kecil dari 0,05. Hal ini menunjukan bahwa kombinasi antara Magnesium Sulfat (MgSO_4) dan Kalsium Klorida (CaCl_2) memberikan nilai yang berbeda nyata atau significant terhadap atribut Total Padatan Terlarut (TDS). Nilai F Lack of fit sebesar 1,25 menunjukan bahwa lack of fit not significant menunjukan bahwa adanya kesesuaian antara model dengan data hasil analisis Total Padatan Terlarut.

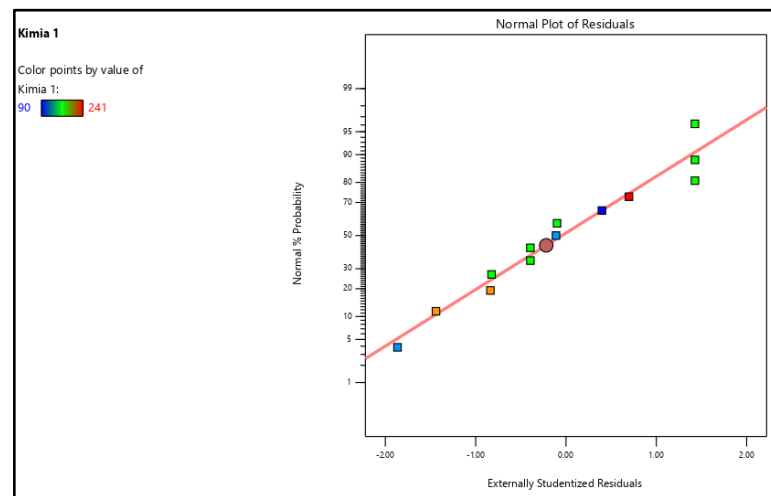
Tabel IV.4. Fit Statistic analisis Total Padatan Terlarut (TDS)

	Std. Dev.	0.5878		R²	0.9998
	Mean	165.92		Adjusted R²	0.9998
	C.V. %	0.3543		Predicted R²	0.9998
				Adeq Precision	534.2384

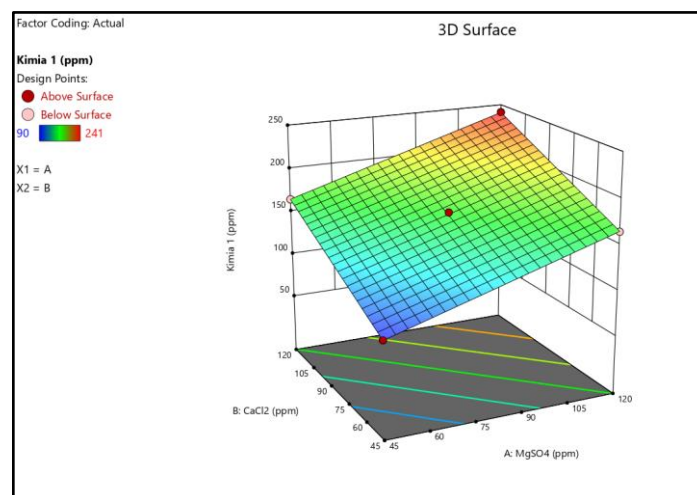
Nilai rata-rata (mean) untuk hasil analisis Total Padatan Terlarut adalah 165,92 % dengan standar deviasi sebesar 0,5878. Nilai R^2 sebesar 0.9998. Nilai *adjust* R^2 sebesar 0.9998 serta *predicted* R^2 sebesar 0.9998 maka selisih perbedaannya kurang dari 0,2 hal tersebut menunjukkan bahwa model ini sangat ideal. Kemudian nilai *adeq precision* sebesar 534,2384. Nilai yang lebih besar dari 4 menunjukkan sinyal yang memadai. Model ini dapat digunakan untuk menavigasi *design space*.

$$Y = 165,23 + 37,80A + 37,62B$$

Berdasarkan skor diatas maka dapat disimpulkan bahwa komponen Konstanta, A (Magnesium Sulfat ($MgSO_4$)) dan B (Kalsium Klorida ($CaCl_2$)) berpengaruh nyata terhadap respon total padatan terlarut, ditandai dengan adanya indikasi nilai positif (+). Komponen yang kontribusi terbesar adalah komponen B (Magnesium Sulfat ($MgSO_4$)) dengan nilai 37,80.



Gambar IV.1. Grafik Kenormalan Internally Studentized Residuals Analisis Total Padatan Terlarut (TDS)



Gambar IV.2. Grafik 3D Surface Analisis Total Padatan Terlarut (TDS)

Berdasarkan grafik 3D Surface hubungan interaksi antar komponen dapat dilihat dari warna dan bentuk permukaan. Nilai Total Padatan Terlarut (TDS) paling tinggi sebesar 241 ppm dengan kombinasi formulasi (2) dengan komposisi Magnesium Sulfat (MgSO_4) 120 ppm dan Kalsium Klorida (CaCl_2) 120 ppm Sedangkan Total Padatan Terlarut (TDS) paling rendah sebesar 90 ppm, dengan kombinasi formulasi (11) komposisi Magnesium Sulfat (MgSO_4) 45 ppm dan Kalsium Klorida (CaCl_2) 45 ppm.

IV.1.1.2 Hasil Analisis Kadar pH

Nilai pH merupakan parameter fisikokimia krusial yang merepresentasikan aktivitas ion hidrogen (H^+) bebas di dalam larutan, yang secara langsung memengaruhi persepsi sensoris keasaman (acidity) pada produk pangan. Menurut standar Specialty Coffee Association (SCA), air yang ideal untuk menyeduh kopi harus memiliki pH awal netral berkisar antara 6,5 hingga 7,5 (SCA, 2021). Namun, setelah proses ekstraksi manual brew berlangsung, nilai pH larutan akan turun secara signifikan ke rentang asam antara 4,8 hingga 5,2 akibat terlarutnya senyawa-senyawa asam organik lemah yang terkandung di dalam biji kopi (Wellinger, M., Smrke, S., & Yeretian, 2016). Meskipun pH mengukur intensitas kekuatan asam bebas dan bukan total asam tertitiasi (*titratable acidity*), parameter ini tetap menjadi indikator sensitif terhadap perubahan komposisi kimia pelarut. Berdasarkan hasil analisis pH dengan perlakuan penambahan Magnesium Sulfat ($MgSO_4$) dan Kalsium Klorida ($CaCl_2$) di dapatkan hasil pada tabel 7 sebagai berikut.

Tabel IV.5. Hasil Analisis pH

Formula	MgSo4 (ppm)	CaCl2 (ppm)	Analisi pH
1	120	45	5.35
2	120	100	5.81
3	83	83	5.91
4	83	136	5.86
5	83	83	5.93
6	45	120	5.59
7	83	83	5.89
8	30	83	5.45
9	83	83	5.74
10	83	83	5.74
11	45	45	5.5
12	136	83	5.52
13	83	30	5.58

Berdasarkan data hasil pengujian yang tertera pada tabel 7, nilai otal pH dari 13 formula menunjukkan variasi kekuatan seduhan yang signifikan akibat penambahan mineral air penyeduh. Nilai pH terendah diperoleh pada Formula 1 sebesar (5,35), yang dikondisikan dengan kombinasi kadar mineral paling rendah, yaitu MgSO_4 (120 ppm) dan CaCl_2 (45 ppm). Sebaliknya, nilai pH tertinggi dicapai oleh Formula 5 yang berada pada titik pusat (Center Points) sebesar (5,93) dengan aplikasi konsentrasi komponen mineral yang tinggi MgSO_4 (83 ppm) dan CaCl_2 (83 ppm). Sementara itu, kelompok formula yang berada pada titik pusat (center points) yaitu Formula 3, 5, 7, 9, dan 10 menggunakan kombinasi tetap MgSO_4 (83 ppm) dan CaCl_2 (83 ppm) menghasilkan konsistensi nilai pH yang sangat stabil dan seragam pada rentang 5,74-5,93. Secara menyeluruh, tren data mengindikasikan adanya korelasi positif quadratic di mana semakin mendekati pH netral air seduhan kopi, maka nilai pH akhir pada produk seduhan kopi Java Preanger natural akan menurun secara proporsional.

Tabel IV.6. ANOVA analisis kadar pH

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
	Model	0.3533	5	0.0707	4.67	0.0341	significant
	A- MgSO_4	0.0040	1	0.0040	0.2670	0.6213	
	B- CaCl_2	0.0190	1	0.0190	1.25	0.2999	
	AB	0.0334	1	0.0334	2.21	0.1811	
	A^2	0.1856	1	0.1856	12.25	0.0100	
	B^2	0.1505	1	0.1505	9.93	0.0161	
	Residual	0.1060	7	0.0151			
	Lack of Fit	0.0705	3	0.0235	2.65	0.1848	not significant
	Pure Error	0.0355	4	0.0089			
	Cor Total	0.4594	12				

Model polinomial yang disarankan oleh software Design Expert untuk pH adalah quadratic pada tabel ANOVA menunjukkan bahwa pada taraf 5% model linear yang direkomendasikan adalah significant, dengan nilai P adalah 0.0341. Maka “Prob>F” atau P lebih kecil dari 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi antara Magnesium

Sulfat (MgSO_4) dan Kalsium Klorida (CaCl_2) memberikan nilai yang berbeda nyata atau significant terhadap atribut pH. Nilai *F Lack of fit* sebesar 0,1848 menunjukkan bahwa *lack of fit not significant* menunjukkan bahwa adanya kesesuaian antara model dengan data hasil analisis pH.

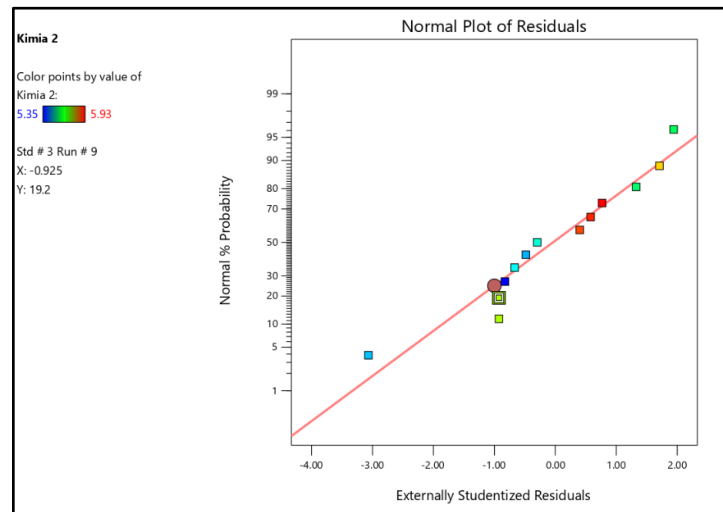
Tabel IV.7. Fit Statistic Kadar pH

	Std. Dev.	0.0769		R²	0.9087
	Mean	5.68		Adjusted R²	0.8435
	C.V. %	1.35		Predicted R²	0.7844
				Adeq Precision	9.0715

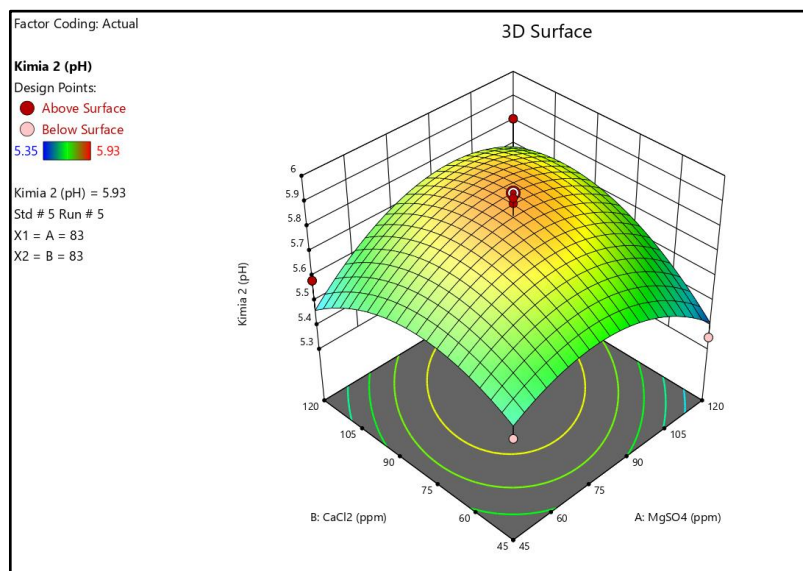
Nilai rata-rata (mean) untuk hasil analisis pH adalah 5,68 % dengan standar deviasi sebesar 0,0769. Nilai R^2 sebesar 0.9087. Nilai *adjust R²* sebesar 0.8435 serta *predicted R²* sebesar 0.7844 maka selisih perbedaannya kurang dari 0,2 hal tersebut menunjukkan bahwa model ini sangat ideal. Kemudian nilai *adeq precision* sebesar 9,0715. Nilai yang lebih besar dari 4 menunjukkan sinyal yang memadai. Model ini dapat digunakan untuk menavigasi *design space*.

$$Y = 5,84 + 0,0225A + 0,0487B + 0,0914AB - 0,6135A^2 - 0,1472B^2$$

Berdasarkan skor diatas maka dapat disimpulkan bahwa komponen Konstanta, A (Magnesium Sulfat (MgSO_4)) dan B (Kalsium Klorida (CaCl_2)), AB (Interaksi Dua Faktor), A^2 (Efek Kuadratik Faktor Magnesium Sulfat (MgSO_4)) B^2 (Efek Kuadratik Faktor B (Kalsium Klorida (CaCl_2))) berpengaruh nyata terhadap respon pH, ditandai dengan adanya indikasi nilai positif (+). Komponen yang kontribusi terbesar adalah komponen B (Kalsium Klorida (CaCl_2)) dengan nilai 0,0487.



Gambar IV.3. Grafik Kenormalan Internally Studentized Residuals Analisis pH



Gambar IV.4. Grafik 3D Surface Analisis pH

Berdasarkan grafik 3D Surface hubungan interaksi antar komponen dapat dilihat dari warna dan bentuk permukaan. Nilai pH paling tinggi sebesar 5,93 dengan kombinasi formulasi (5) dengan komposisi Magnesium Sulfat (MgSO_4) 83 ppm dan Kalsium Klorida (CaCl_2) 83 ppm Sedangkan pH paling rendah sebesar 5,35 pada kombinasi formulasi (1) dengan komposisi Magnesium Sulfat (MgSO_4) 120 ppm dan Kalsium Klorida (CaCl_2) 45ppm.

IV.1.2 Analisis Respon Organoleptik

IV.1.2.1 Hasil Analisis Intensitas Atribut Aroma

Aroma merupakan salah satu atribut sensoris paling krusial dalam penentuan kualitas kopi specialty karena senyawa volatil aromatik langsung berinteraksi dengan reseptor penciuman manusia melalui jalur ortonasal sebelum seduhan menyentuh lidah. Menurut standar evaluasi Specialty Coffee Association (SCA), intensitas dan kebersihan (*cleanness*) aroma ditentukan oleh keberhasilan ekstraksi komponen volatil utama seperti kelompok senyawa furan (karamel), pirazin (kacang/panggang), serta ester dan keton yang menyumbangkan aroma buah dan bunga (fruity and floral notes) khas proses pasca-panen natural (Wellinger, M., Smrke, S., & Yeretizian, 2016). Dalam pemodelan kuadratik menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM), fluktuasi skor aroma di dalam matriks percobaan mengindikasikan bahwa komposisi ionik air penyeduh bertindak secara aktif sebagai agen penyeleksi laju pelepasan (*mass transfer rate*) senyawa-senyawa volatil tersebut ke ruang udara (*headspace*) cangkir (Kyroglou et al., 2022).

Tabel IV.8. Hasil Analisis Intensitas Aroma

Formula	MgSo4 (ppm)	CaCl2 (ppm)	Aroma
1	120	45	7.75
2	120	100	8.25
3	83	83	8.25
4	83	136	7.92
5	83	83	8.5
6	45	120	7.58
7	83	83	8.33
8	30	83	7.5
9	83	83	8.33
10	83	83	8.75
11	45	45	8
12	136	83	7.92
13	83	30	7.75

Berdasarkan data hasil pengujian yang tertera pada tabel 10, nilai analisis intensitas aroma dari 13 formula menunjukkan variasi kekuatan seduhan yang signifikan akibat penambahan mineral air penyeduh. Nilai intensitas Aroma terendah diperoleh pada Formula 8 sebesar (7,5) yang dikondisikan dengan kombinasi kadar mineral yaitu MgSO_4 (30 ppm) dan CaCl_2 (83 ppm) dengan kualitas aroma menghasilkan aroma *toasty*. Sebaliknya, nilai intensitas Aroma tertinggi dicapai oleh Formula 10 sebesar (8,75) dengan aplikasi konsentrasi komponen mineral yang tinggi MgSO_4 (83 ppm) dan CaCl_2 (83 ppm). Sementara itu, kelompok formula yang berada pada titik pusat (center points) yaitu Formula 3, 5, 7, 9, dan 10 menggunakan kombinasi tetap MgSO_4 (83 ppm) dan CaCl_2 (83 ppm) menghasilkan konsistensi nilai intensitas aroma yang sangat stabil dan seragam pada rentang 8,25 – 8,75. Secara menyeluruh, tren data mengindikasikan adanya korelasi positif linear di mana Aroma mencapai intensitas terbaiknya ketika MgSO_4 dan CaCl_2 dikombinasikan dalam jumlah yang sama besar, yaitu masing-masing 83 ppm konsentrasi ion magnesium dan kalsium yang diinjeksikan ke dalam air pembasuh, maka nilai intensitas aroma akhir pada produk seduhan kopi Java Preanger natural akan meningkat secara proporsional.

Tabel IV.9. ANOVA Analisis Intensitas Aroma

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
	Model	1.47	5	0.2933	10.27	0.0040	significant
	A- MgSO_4	0.1335	1	0.1335	4.67	0.0674	
	B- CaCl_2	0.0139	1	0.0139	0.4858	0.5083	
	AB	0.2128	1	0.2128	7.45	0.0294	
	A^2	0.7544	1	0.7544	26.41	0.0013	
	B^2	0.4952	1	0.4952	17.34	0.0042	
	Residual	0.1999	7	0.0286			
	Lack of Fit	0.0402	3	0.0134	0.3361	0.8015	not significant
	Pure Error	0.1597	4	0.0399			
	Cor Total	1.67	12				

Model polinomial yang disarankan oleh software Design Expert untuk respon aroma adalah quadratic pada tabel ANOVA menunjukkan bahwa pada taraf 5%

model linear yang direkomendasikan adalah significant, dengan nilai P adalah 0.0040 Maka “Prob>F” atau P lebih kecil dari 0,05. Hal ini menunjukan bahwa kombinasi antara Magnesium Sulfat (MgSO_4) dan Kalsium Klorida (CaCl_2) memberikan nilai yang berbeda nyata atau significant terhadap atribut intensitas aroma. Nilai F Lack of fit sebesar 0,8015 menunjukan bahwa lack of fit not significant menunjukan bahwa adanya kesesuaian antara model dengan data hasil analisis intensitas aroma.

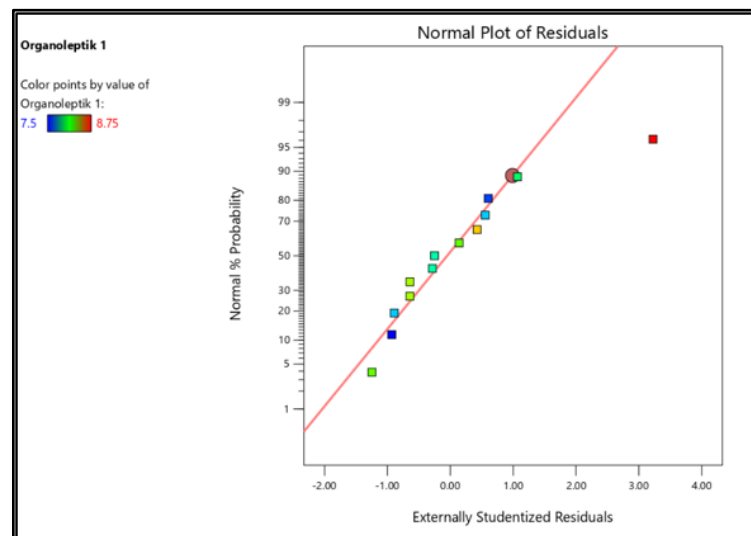
Tabel IV.10. Fit Statistic Analisis Intensitas Aroma

	Std. Dev.	0.1690		R²	0.8800
	Mean	8.06		Adjusted R²	0.7943
	C.V. %	2.10		Predicted R²	0.6784
				Adeq Precision	7.9869

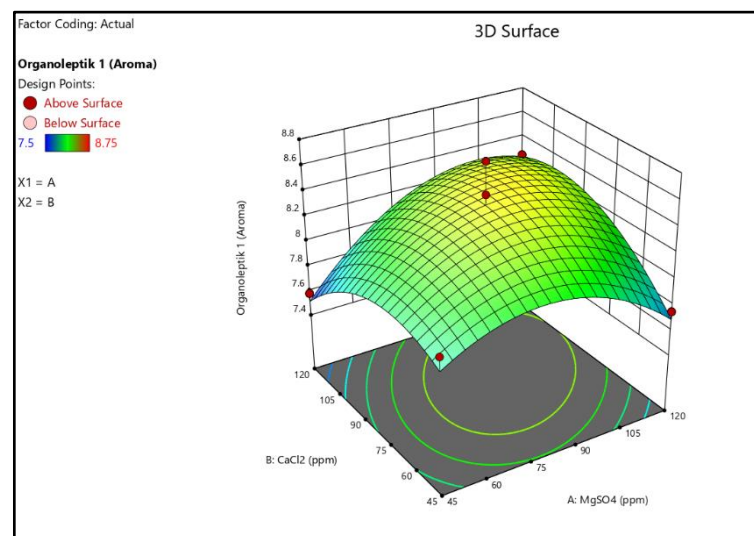
Nilai rata-rata (mean) untuk hasil analisis Intensitas Aroma adalah 8,06 % dengan standar deviasi sebesar 0,1690. Nilai R² sebesar 0.8800. Nilai adjust R² sebesar 0,7943 serta predicted R² sebesar 0.6784 maka selisih perbedaannya kurang dari 0,2 hal tersebut menunjukkan bahwa model ini sangat ideal. Kemudian nilai adeq precision sebesar 9,0715. Nilai yang lebih besar dari 4 menunjukan sinyal yang memadai. Model ini dapat digunakan untuk menavigasi design space.

$$Y = 8,43 + 0,1292A + 0,0417B + 0,2306AB - 0,3296A^2 - 0,2670B^2$$

Berdasarkan skor diatas maka dapat disimpulkan bahwa komponen Konstanta, A (Magnesium Sulfat (MgSO_4)) dan B (Kalsium Klorida (CaCl_2)), AB (Interaksi Dua Faktor), A² (Efek Kuadratik Faktor Magnesium Sulfat (MgSO_4)) B² (Efek Kuadratik Kalsium Klorida (CaCl_2)), berpengaruh nyata terhadap respon intensitas aroma, ditandai dengan adanya indikasi nilai positif(+). Komponen yang kontribusi terbesar adalah komponen A (Magnesium Sulfat (MgSO_4)) dengan nilai 0,1292.



Gambar IV.5. Grafik Kenormalan Internally Studentized Residuals Intensitas Aroma



Gambar IV.6. Grafik 3D Surface Analisis Intensitas Aroma

Berdasarkan grafik 3D Surface hubungan interaksi antar komponen dapat dilihat dari warna dan bentuk permukaan. Nilai analisis intensitas aroma paling tinggi sebesar 8,75 dengan kombinasi formulasi (1) dengan komposisi Magnesium Sulfat (MgSO_4) 83 ppm dan Kalsium Klorida (CaCl_2) 83 ppm Sedangkan intensitas aroma paling rendah sebesar 7,5 pada kombinasi formulasi (8) dengan komposisi Magnesium Sulfat (MgSO_4) 30 ppm dan Kalsium Klorida (CaCl_2) 83 ppm.

IV.1.2.2 Hasil Analisis Intensitas Atribut Flavor

Parameter flavor di dalam industri kopi specialty didefinisikan sebagai impresi sensoris gabungan antara cita rasa yang dikecap oleh lidah (*gustatory*) dan aroma yang tercium melalui langit-langit rongga mulut (*retronasal*) saat kopi disruput (Specialty Coffee Association, 2021). Berdasarkan standar Specialty Coffee Association (SCA), kompleksitas flavor sangat bergantung pada efisiensi ekstraksi senyawa non-volatil berbobot molekul tinggi, termasuk kafein, asam klorogenat (penentu rasa pahit dan astringency yang seimbang), serta gula larut pembawa sensasi manis (Wellinger, M., Smrke, S., & Yeretian, 2016). Di dalam pendekatan *Response Surface Methodology* (RSM), pola pergerakan data yang melengkung ke atas pada area tepi (kondisi konsentrasi tinggi) menunjukkan bahwa energi aktivasi pelarutan senyawa flavor esensial membutuhkan kekuatan ionik pelarut (*ionic strength*) yang lebih kokoh dibandingkan pelepasan senyawa aromatik volatil murni (Kyroglou et al., 2022).

Tabel IV.11. Hasil Analisis Intensitas Flavor

Formula	MgSO ₄ (ppm)	CaCl ₂ (ppm)	Flavor
1	120	45	7.75
2	120	100	7.83
3	83	83	7.25
4	83	136	7.83
5	83	83	7.5
6	45	120	7.25
7	83	83	7.5
8	30	83	7.42
9	83	83	7.5
10	83	83	7.5
11	45	45	7.66
12	136	83	7.58
13	83	30	7.75

Berdasarkan data hasil pengujian yang tertera pada tabel 13, nilai intensitas flavor dari 13 formula menunjukkan variasi kekuatan seduhan yang signifikan akibat penambahan mineral air penyeduh. Nilai intensitas flavor terendah dicapai oleh 2 formula yaitu diperoleh pada Formula 3 dan 6 sebesar (7,25) dengan keterangan pada formula 3 menghasilkan rasa *astringent low to medium* dan pada formula 6 didapatkan konsistensi nilai intensitas flavor yang *dull* (membosankan), yang dikondisikan dengan kombinasi kadar mineral pada formula (3) dengan MgSO₄ (83 ppm) dan CaCl₂ (83 ppm) dan formula (6) dengan MgSO₄ (45 ppm) dan CaCl₂ (120 ppm) . Sebaliknya, nilai intensitas flavor tertinggi dicapai oleh Formula 2 sebesar (7,83 ppm) pada formula 2 dan 4 dengan aplikasi konsentrasi komponen mineral yang tinggi pada formula (2) yaitu MgSO₄ (120 ppm) dan CaCl₂ (100 ppm) dan pada formula (4) yaitu MgSO₄ (83 ppm) dan CaCl₂ (136 ppm). Sementara itu, kelompok formula yang berada pada titik pusat (center points) yaitu

Formula 3, 5, 7, 9, dan 10 menggunakan kombinasi tetap MgSO_4 (83 ppm) dan CaCl_2 (83 ppm) menghasilkan konsistensi nilai flavor yang sangat stabil dan seragam pada rentang (7,25 – 7,5). tren data mengindikasikan adanya korelasi positif linear di mana Aroma mencapai intensitas terbaiknya ketika MgSO_4 dan CaCl_2 dikombinasikan dalam jumlah yang lebih besar dari 83 ppm yang diinjeksikan ke dalam air pembasuh, maka nilai intensitas flavor akhir pada produk seduhan kopi Java Preanger natural akan meningkat secara proporsional.

Tabel IV.12. ANOVA Analisis Intensitas Flavor

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
	Model	0.3561	5	0.0712	5.07	0.0278	significant
	A- MgSO_4	0.0987	1	0.0987	7.02	0.0330	
	B- CaCl_2	0.0072	1	0.0072	0.5146	0.4964	
	AB	0.0600	1	0.0600	4.27	0.0777	
	A^2	0.0025	1	0.0025	0.1756	0.6877	
	B^2	0.1902	1	0.1902	13.53	0.0079	
	Residual	0.0984	7	0.0141			
	Lack of Fit	0.0484	3	0.0161	1.29	0.3920	not significant
	Pure Error	0.0500	4	0.0125			
	Cor Total	0.4545	12				

Model polinomial yang disarankan oleh software Design Expert untuk respon intensitas flavor adalah quadratic pada tabel ANOVA menunjukkan bahwa pada taraf 5% model linear yang direkomendasikan adalah significant, dengan nilai P adalah 0.0278 Maka “Prob>F” atau P lebih kecil dari 0,05. Hal ini menunjukan bahwa kombinasi antara Magnesium Sulfat (MgSO_4) dan Kalsium Klorida (CaCl_2) memberikan nilai yang berbeda nyata atau significant terhadap atribut pH. Nilai F Lack of fit sebesar 0,3920 menunjukan bahwa lack of fit not significant menunjukan bahwa adanya kesesuaian antara model dengan data hasil analisis intensitas flavor.

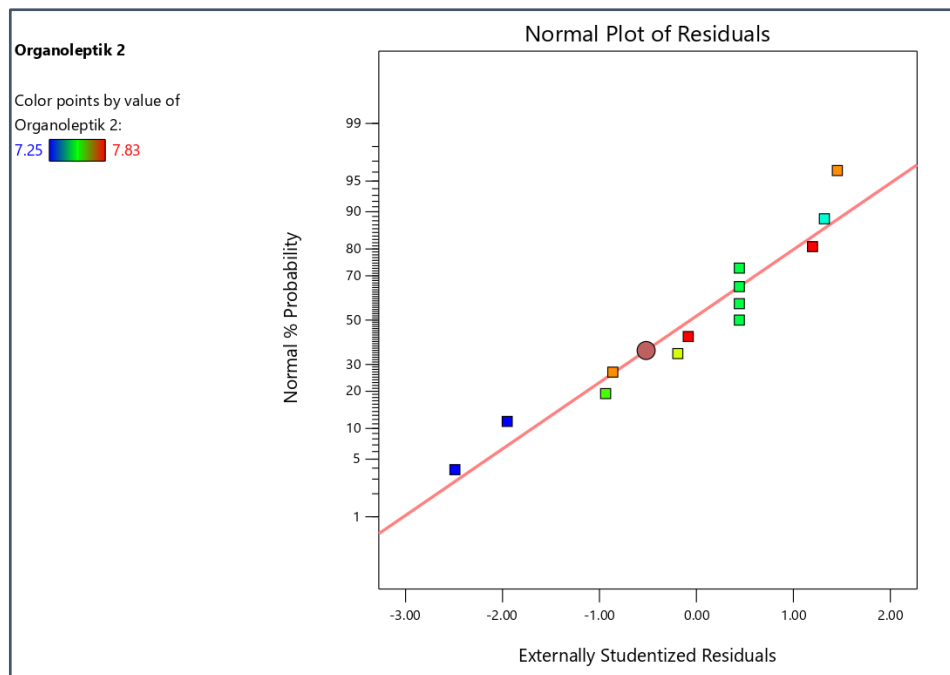
Tabel IV.13. Fit Statistic analisis intensitas flavor

	Std. Dev.	0.1186		R²	0.7835
	Mean	7.56		Adjusted R²	0.6288
	C.V. %	1.57		Predicted R²	0.0704
				Adeq Precision	6.3192

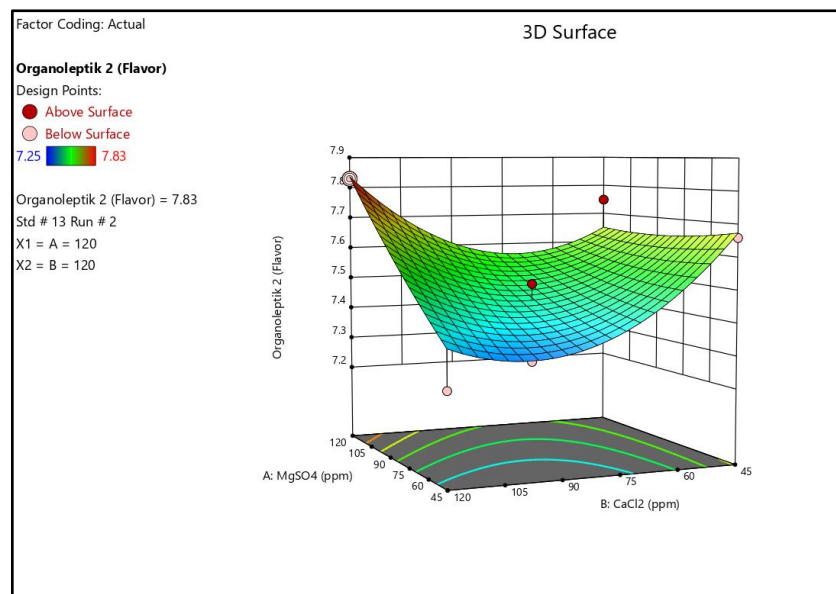
Nilai rata-rata (mean) untuk hasil analisis intensitas flavor adalah 7,56 % dengan standar deviasi sebesar 0,1186. Nilai R² sebesar 0.7835. Nilai adjust R² sebesar 0,6288 serta predicted R² sebesar 0.0704 maka selisih perbedaannya lebih dari 0,2 hal tersebut menunjukkan bahwa model ini *not in reasonable agreement*. Kemudian nilai adeq precision sebesar 6,3192. Nilai yang lebih besar dari 4 menunjukkan sinyal yang memadai. Model ini dapat digunakan untuk menavigasi design space. Menurut (Douglas C. Montgomery, 2017) Jika deviasi di antara keduanya melebihi (0,20) hal ini mengindikasikan adanya gejala overfitting atau terdapat gangguan noise yang tinggi yang melemahkan kemampuan model untuk memprediksi titik koordinat baru di luar total formula eksperimen. Meskipun demikian, batas kelayakan navigasi model masih dapat ditoleransi jika nilai Adequate Precision berada di atas angka batas minimum 4,00, yang menandakan rasio sinyal terhadap gangguan masih cukup memadai.

$$Y = 7,45 + 0,1111A - 0,0301B + 0,1224AB + 0,0189A^2 + 0,1655B^2$$

Berdasarkan skor diatas maka dapat disimpulkan bahwa komponen Konstanta, A (Magnesium Sulfat (MgSO₄)), B (Kalsium Klorida (CaCl₂)), AB (Interaksi Dua Faktor), A² (Efek Kuadratik Faktor Magnesium Sulfat (MgSO₄)) dan B² (Efek Kuadratik Faktor Kalsium Klorida (CaCl₂)), berpengaruh nyata terhadap respon intensitas flavor, ditandai dengan adanya indikasi nilai positif (+). Komponen yang kontribusi terbesar adalah komponen B² (Efek Kuadratik Faktor Kalsium Klorida (CaCl₂)) dengan nilai 0,1655.



Gambar IV.7. Grafik Kenormalan Internally Studentized Residuals Intensitas Flavor



Gambar IV.8. Grafik 3D Surface Analisis Intensitas Flavor

Berdasarkan grafik 3D Surface hubungan interaksi antar komponen dapat dilihat dari warna dan bentuk permukaan. Nilai analisis intensitas flavor paling tinggi sebesar 7,83 dengan kombinasi formulasi (2 dan 4) dengan komposisi formula 2 Magnesium Sulfat (MgSO_4) 120 ppm dan Kalsium Klorida (CaCl_2) 120 ppm dan formula 4 Magnesium Sulfat (MgSO_4) 83 ppm dan Kalsium Klorida (CaCl_2) 136 ppm, Sedangkan intensitas flavor paling rendah sebesar 7,25 pada kombinasi formulasi (3 dan 6) pada formula 3 memiliki komposisi Magnesium Sulfat (MgSO_4) 83 ppm dan Kalsium Klorida (CaCl_2) 83 ppm dan pada formula 6 memiliki komposisi Magnesium Sulfat (MgSO_4) 45 ppm dan Kalsium Klorida (CaCl_2) 120 ppm.

IV.1.2.3 Hasil Analisis Intensitas Atribut *Aftertaste*

Dalam protokol uji sensori Specialty Coffee Association (SCA), *aftertaste* didefinisikan sebagai karakteristik rasa (*taste*) dan aroma (*retronasal*) yang tertinggal di rongga mulut setelah sampel kopi ditelan (Specialty Coffee Association, 2021) Parameter ini menjadi penentu penting kualitas kopi karena senyawa yang memiliki berat molekul tinggi, kelarutan air yang rendah, serta sifat hidrofobik seperti kelompok lipid (minyak kopi), melanoidin, dan senyawa polifenol (asam klorogenat) akan menempel pada reseptor lidah lebih lama, Keberadaan kation di dalam air bertindak sebagai konduktor pembentuk kompleks organologam yang memodulasi seberapa kuat senyawa-senyawa berat tersebut terikat atau terlepas dari membran mukosa mulut manusia selama fase *tasting* berlangsung (Hendon et al., 2014)

Tabel IV.14. Hasil Analisis Intensitas *Aftertaste*

Formula	MgSO ₄ (ppm)	CaCl ₂ (ppm)	<i>After taste</i>
1	120	45	7.33
2	120	100	7.83
3	83	83	8.25
4	83	136	8.08
5	83	83	8.25
6	45	120	7.25
7	83	83	8
8	30	83	7.58
9	83	83	8
10	83	83	8.25
11	45	45	8
12	136	83	7.58
13	83	30	7.83

Berdasarkan data hasil pengujian yang tertera pada tabel 16, nilai intensitas *Aftertaste* dari 13 formula menunjukkan variasi kekuatan seduhan yang signifikan akibat penambahan mineral air penyeduh. Nilai intensitas *Aftertaste* terendah dicapai oleh formula 6 sebesar (7,25) dengan keterangan *short Aftertaste*, yang dikondisikan dengan kombinasi kadar mineral pada formula (6) dengan MgSO₄ (45 ppm) dan CaCl₂ (120 ppm). Sebaliknya, nilai intensitas *Aftertaste* tertinggi dicapai 3 formula yaitu formula (3,5,10) dan ketiga formula ini memiliki kombinasi mineral yang sama yaitu MgSO₄ (83 ppm) dan CaCl₂ (83 ppm) . Sementara itu, kelompok formula yang berada pada titik pusat (center points) yaitu Formula 3, 5, 7, 9, dan 10 menggunakan kombinasi tetap MgSO₄ (83 ppm) dan CaCl₂ (83 ppm) menghasilkan konsistensi nilai *Aftertaste* yang sangat stabil dan seragam pada rentang (8 – 8,25). tren data mengindikasikan adanya korelasi positif linear di mana *aftertaste* mencapai intensitas terbaiknya ketika MgSO₄ dan CaCl₂ dikombinasikan dalam jumlah yang sama (83 ppm) diinjeksikan ke dalam air pembasuh, maka nilai

intensitas *Aftertaste* akhir pada produk seduhan kopi Java Preanger natural akan meningkat secara proporsional.

Tabel IV.15. ANOVA Analisis Intensitas *Aftertaste*

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
	Model	1.20	5	0.2398	9.55	0.0050	significant
	A-MgSO ₄	0.0006	1	0.0006	0.0227	0.8844	
	B-CaCl ₂	0.0014	1	0.0014	0.0557	0.8203	
	AB	0.3937	1	0.3937	15.68	0.0055	
	A ²	0.7391	1	0.7391	29.44	0.0010	
	B ²	0.1316	1	0.1316	5.24	0.0559	
	Residual	0.1758	7	0.0251			
	Lack of Fit	0.1008	3	0.0336	1.79	0.2881	not significant
	Pure Error	0.0750	4	0.0187			
	Cor Total	1.37	12				

Model polinomial yang disarankan oleh software Design Expert untuk *Aftertaste* adalah quadratic pada tabel ANOVA menunjukkan bahwa pada taraf 5% model linear yang direkomendasikan adalah significant, dengan nilai P adalah 0.0050 Maka “Prob>F” atau P lebih kecil dari 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi antara Magnesium Sulfat (MgSO₄) dan Kalsium Klorida (CaCl₂) memberikan nilai yang berbeda nyata atau significant terhadap atribut intensitas *Aftertaste*. Nilai F Lack of fit sebesar 0,2881 menunjukkan bahwa lack of fit not significant menunjukkan bahwa adanya kesesuaian antara model dengan data hasil analisis intensitas *Aftertaste*.

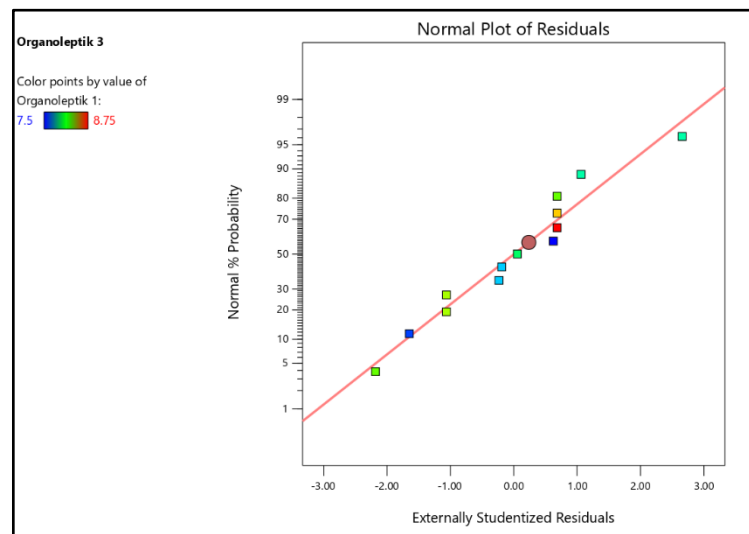
Tabel IV.16. Fit Statistic Analisis Intensitas *Aftertaste*

	Std. Dev.	0.1585	R²	0.8722
	Mean	7.86	Adjusted R²	0.7809
	C.V. %	2.01	Predicted R²	0.3932
			Adeq Precision	7.4247

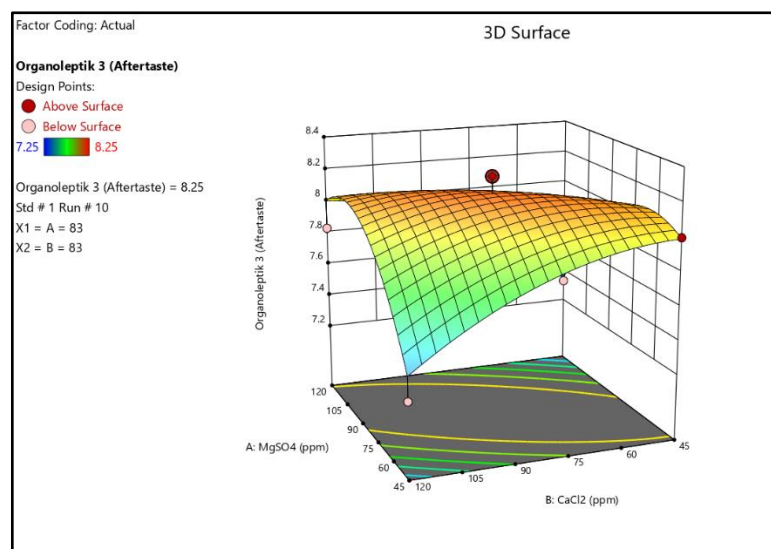
Nilai rata-rata (mean) untuk hasil analisis Total Padatan Terlarut adalah 7,86 % dengan standar deviasi sebesar 0,1585. Nilai R^2 sebesar 0.8722, Nilai adjust R^2 sebesar 0,7809 serta predicted R^2 sebesar 0.3932 maka selisih perbedaannya lebih dari 0,2 hal tersebut menunjukkan bahwa model ini *not in reasonable agreement*. Kemudian nilai adeq precision sebesar 7,4247. Nilai yang lebih besar dari 4 menunjukkan sinyal yang memadai. Model ini dapat digunakan untuk menavigasi design space. Menurut (Douglas C. Montgomery, 2017) Jika deviasi di antara keduanya melebihi (0,20) hal ini mengindikasikan adanya gejala overfitting atau terdapat gangguan noise yang tinggi yang melemahkan kemampuan model untuk memprediksi titik koordinat baru di luar total formula eksperimen. Meskipun demikian, batas kelayakan navigasi model masih dapat ditoleransi jika nilai Adequate Precision berada di atas angka batas minimum 4,00, yang menandakan rasio sinyal terhadap gangguan masih cukup memadai.

$$Y = 8,15 - 0,0084A + 0,0132B + 0,3137AB - 0,3262A^2 - 0,1377B^2$$

Berdasarkan skor diatas maka dapat disimpulkan bahwa komponen Konstanta, A (Magnesium Sulfat ($MgSO_4$)), B (Kalsium Klorida ($CaCl_2$)), AB (Interaksi Dua Faktor), A^2 (Efek Kuadratik Faktor Magnesium Sulfat ($MgSO_4$)) dan B^2 (Efek Kuadratik Faktor Kalsium Klorida ($CaCl_2$)), berpengaruh nyata terhadap respon intensitas *Aftertaste*, ditandai dengan adanya indikasi nilai positif (+). Komponen yang kontribusi terbesar adalah komponen AB (Interaksi Dua Faktor) dengan nilai 0,3137.



Gambar IV.9. Grafik Kenormalan Internally Studentized Residuals Intensitas *Aftertaste*



Gambar IV.10. Grafik 3D Surface Analisis Intensitas *Aftertaste*

Berdasarkan grafik 3D Surface hubungan interaksi antar komponen dapat dilihat dari warna dan bentuk permukaan. Nilai analisis intensitas *Aftertaste* paling tinggi sebesar 8,25 dengan kombinasi formulasi (3, 5 dan 10) dengan komposisi ke-3 formula tersebut Magnesium Sulfat (MgSO₄) 83 ppm dan Kalsium Klorida (CaCl₂) 83 ppm, Sedangkan intensitas *Aftertaste* paling rendah sebesar 7,25 pada

kombinasi formulasi (6) dengan formula komposisi Magnesium Sulfat (MgSO_4) 45 ppm dan Kalsium Klorida (CaCl_2) 120 ppm.

IV.1.2.4 Hasil Analisis Intensitas Atribut *Acidity*

Dalam evaluasi sensoris kopi standar Specialty Coffee Association (SCA), *acidity* tidak merujuk pada kuantitas total ion hidrogen (H^+) atau nilai pH kimia larutan semata, melainkan merepresentasikan kecerahan (*brightness*), ketajaman (*liveliness*), dan kebersihan karakteristik rasa buah (*fruity character*) saat seduhan pertama kali diruput (Specialty Coffee Association, 2021). Kopi Java Preanger dengan proses pasca-panen natural secara endogen kaya akan asam organik volatil dan non-volatil, seperti asam sitrat (impresi rasa jeruk/sitrus), asam malat (impresi rasa apel/buah pir), dan asam fosfat (Wellinger, M., Smrke, S., & Yeretizian, 2016). Melalui pendekatan Response Surface Methodology (RSM).

Tabel IV.17. Hasil Analisis Intensitas *Acidity*

Formula	MgSo4 (ppm)	CaCl2 (ppm)	Acidity
1	120	45	7.58
2	120	100	8
3	83	83	7.58
4	83	136	8
5	83	83	7.5
6	45	120	7.25
7	83	83	7.5
8	30	83	7.33
9	83	83	7.75
10	83	83	7.75
11	45	45	7.58
12	136	83	7.42
13	83	30	7.92

Berdasarkan data hasil pengujian yang tertera pada tabel 19, nilai intensitas *acidity* dari 13 formula menunjukkan variasi kekuatan seduhan yang signifikan akibat penambahan mineral air penyeduh. Nilai nilai intensitas *acidity* terendah dicapai oleh formula 6 sebesar (7,25) dengan keterangan *acidity mute*, yang dikondisikan dengan kombinasi kadar mineral pada formula (6) dengan MgSO_4 (45 ppm) dan CaCl_2 (120 ppm). Sebaliknya, nilai intensitas *acidity* tertinggi dicapai 2 formula yaitu formula (2 dan 4) pada formula (2) memiliki kombinasi mineral yang sama yaitu MgSO_4 (120 ppm) dan CaCl_2 (120 ppm) dengan keterangan *sharp acidity* seperti lemon dan pada formula (4) memiliki kombinasi mineral yang sama yaitu MgSO_4 (83 ppm) dan CaCl_2 (136 ppm) dengan keterangan *good acidity*. Sementara itu, kelompok formula yang berada pada titik pusat (center points) yaitu Formula 3, 5, 7, 9, dan 10 menggunakan kombinasi tetap MgSO_4 (83 ppm) dan CaCl_2 (83 ppm) menghasilkan konsistensi nilai *acidity* yang sangat stabil dan seragam pada rentang (7,5 – 7,75). Tren data ini mengonfirmasi bahwa panelis memberikan preferensi konsistensi nilai intensitas *acidity* yang jauh lebih tinggi ketika seduhan memiliki kandungan magnesium yang cukup dan didukung oleh keberadaan kalsium pada batas tertentu.

Tabel IV.18. ANOVA analisis intensitas *acidity*

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
	Model	0.5866	5	0.1173	6.85	0.0126	significant
	A-MgSO ₄	0.0976	1	0.0976	5.70	0.0483	
	B-CaCl ₂	0.0040	1	0.0040	0.2319	0.6448	
	AB	0.1391	1	0.1391	8.13	0.0247	
	A ²	0.1317	1	0.1317	7.69	0.0276	
	B ²	0.1695	1	0.1695	9.90	0.0162	
	Residual	0.1198	7	0.0171			
	Lack of Fit	0.0557	3	0.0186	1.16	0.4286	not significant
	Pure Error	0.0641	4	0.0160			
	Cor Total	0.7064	12				

Model polinomial yang disarankan oleh software Design Expert untuk intensitas *acidity* adalah quadratic pada tabel ANOVA menunjukan bahwa pada taraf 5%

model linear yang direkomendasikan adalah significant, dengan nilai P adalah 0.0126. Maka “Prob>F” atau P lebih kecil dari 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi antara Magnesium Sulfat (MgSO_4) dan Kalsium Klorida (CaCl_2) memberikan nilai yang berbeda nyata atau significant terhadap atribut intensitas *acidity*. Nilai F Lack of fit sebesar 0,4286 menunjukkan bahwa lack of fit not significant menunjukkan bahwa adanya kesesuaian antara model dengan data hasil analisis Total Padatan Terlarut.

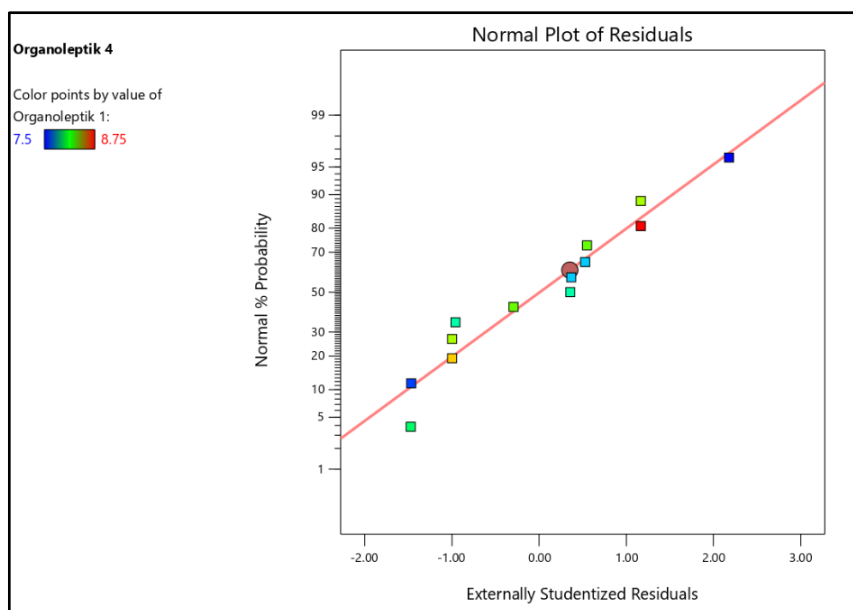
Tabel IV.19. Fit Statistic Analisis Intensitas *Acidity*

	Std. Dev.	0.1308		R²	0.8304
	Mean	7.63		Adjusted R²	0.7092
	C.V. %	1.72		Predicted R²	0.2971
				Adeq Precision	8.8032

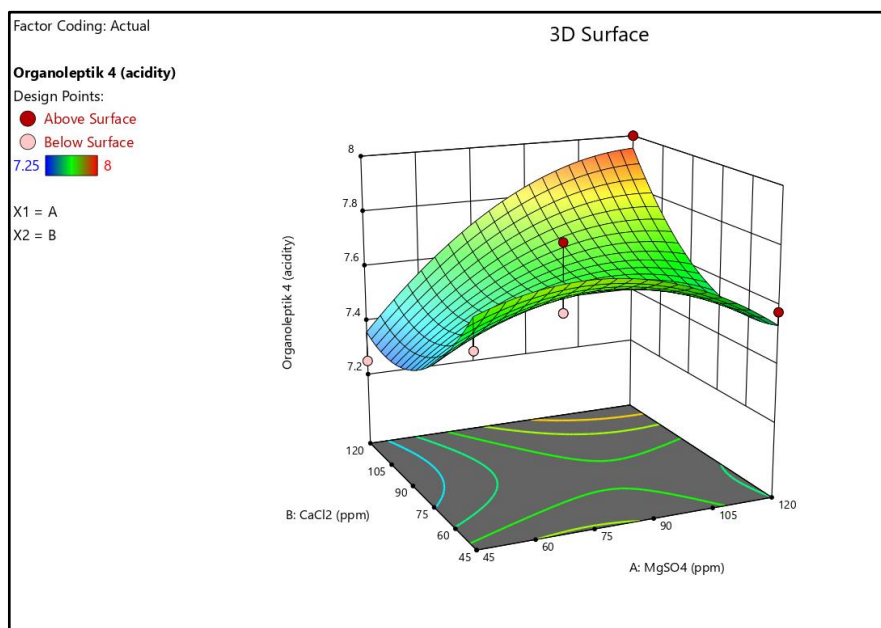
Nilai rata-rata (mean) untuk hasil analisis intensitas *acidity* adalah 7,63 % dengan standar deviasi sebesar 0,1308. Nilai R² sebesar 0.8304, Nilai adjust R² sebesar 0,7092 serta predicted R² sebesar 0.2971 maka selisih perbedaannya lebih dari 0,2 hal tersebut menunjukkan bahwa model ini *not in reasonable agreement*. Kemudian nilai adeq precision sebesar 8,8032. Nilai yang lebih besar dari 4 menunjukkan sinyal yang memadai. Model ini dapat digunakan untuk menavigasi design space. Menurut (Douglas C. Montgomery, 2017) Jika deviasi di antara keduanya melebihi (0,20) hal ini mengindikasikan adanya gejala overfitting atau terdapat gangguan noise yang tinggi yang melemahkan kemampuan model untuk memprediksi titik koordinat baru di luar total formula eksperimen. Meskipun demikian, batas kelayakan navigasi model masih dapat ditoleransi jika nilai Adequate Precision berada di atas angka batas minimum 4,00, yang menandakan rasio sinyal terhadap gangguan masih cukup memadai.

$$Y = 7,62 + 0,1105A + 0,0223B + 0,1865AB - 0,1377A^2 + 0,1562B^2$$

Berdasarkan skor diatas maka dapat disimpulkan bahwa komponen Konstanta, A (Magnesium Sulfat (MgSO_4)), B (Kalsium Klorida (CaCl_2)), AB (Interaksi Dua Faktor), A^2 (Efek Kuadratik Faktor Magnesium Sulfat (MgSO_4)) dan B^2 (Efek Kuadratik Faktor Kalsium Klorida (CaCl_2)), berpengaruh nyata terhadap respon intensitas *acidity*, ditandai dengan adanya indikasi nilai positif (+). Komponen yang kontribusi terbesar adalah komponen AB (Interaksi Dua Faktor) dengan nilai 0,1865.



Gambar IV.11. Grafik Kenormalan Internally Studentized Residuals Intensitas *Acidity*



Gambar IV.12. Grafik 3D Surface Analisis Intensitas *Acidity*

Berdasarkan grafik 3D Surface hubungan interaksi antar komponen dapat dilihat dari warna dan bentuk permukaan. Nilai analisis intensitas *acidity* paling tinggi sebesar 8 dengan kombinasi formulasi (2 dan 4) dengan komposisi pada formula 2 tersebut Magnesium Sulfat (MgSO₄) 120 ppm dan Kalsium Klorida (CaCl₂) 120 ppm dan pada formula 4 Magnesium Sulfat (MgSO₄) 83 ppm dan Kalsium Klorida (CaCl₂) 136, Sedangkan intensitas *acidity* paling rendah sebesar 7,25 pada kombinasi formulasi (6) dengan formula komposisi Magnesium Sulfat (MgSO₄) 45 ppm dan Kalsium Klorida (CaCl₂) 120 ppm.

IV.1.2.5 Hasil Analisis Intensitas Atribut *Sweetness*

Parameter *sweetness* dalam standar evaluasi Specialty Coffee Association (SCA) tidak merujuk pada kuantitas kandungan sukrosa atau gula pasir murni di dalam seduhan, melainkan bentuk deskripsi sensoris atas persepsi kemanisan alami yang dihasilkan oleh karbohidrat rantai pendek, glikol, asam amino, serta hasil modifikasi asam organik spesifik yang berikatan dengan senyawa aromatik buah (Specialty Coffee Association, 2021). Rasa manis pada kopi bersifat sangat rapuh karena persepsinya di lidah manusia mudah sekali tertutupi (*masked*) oleh intensitas

rasa pahit (bitterness) yang berlebih atau sifat kesat (*astringency*) dari senyawa polifenol (Lawless, H. T., & Heymann, 2010).

Tabel IV.20. . Hasil Analisis Intensitas *Sweetness*

Formula	MgSO ₄ (ppm)	CaCl ₂ (ppm)	<i>Sweetness</i>
1	120	45	8.33
2	120	100	6.67
3	83	83	6
4	83	136	6.67
5	83	83	6
6	45	120	7.33
7	83	83	6
8	30	83	7.67
9	83	83	8.33
10	83	83	8.33
11	45	45	7
12	136	83	7
13	83	30	8

Berdasarkan data hasil pengujian yang tertera pada tabel 22, nilai intensitas *sweetness* dari 13 formula menunjukkan variasi kekuatan seduhan yang signifikan akibat penambahan mineral air penyeduh. Nilai intensitas *sweetness* terendah dicapai oleh formula 3 dan 7 sebesar (6) dengan keterangan *sweetness mute*, yang dikondisikan dengan kombinasi pada ke-2 formula tersebut adalah MgSO₄ (83 ppm) dan CaCl₂ (83 ppm). Sebaliknya, nilai intensitas acidity tertinggi dicapai 3 formula yaitu formula (1, 9 dan 10) pada formula (1) memiliki kombinasi mineral yang sama yaitu MgSO₄ (120 ppm) dan CaCl₂ (45 ppm) dan pada formula (9 dan 10) memiliki kombinasi mineral yang sama yaitu MgSO₄ (83 ppm) dan CaCl₂ (83 ppm) dengan keterangan *good sweetness*. Sementara itu, kelompok formula yang berada pada titik pusat (center points) yaitu Formula 3, 5, 7, 9, dan 10 menggunakan kombinasi tetap MgSO₄ (83 ppm) dan CaCl₂ (83 ppm) menghasilkan konsistensi nilai *sweetness* yang tidak stabil dan tidak seragam pada rentang (6 – 8,33). Tren

data ini mengonfirmasi bahwa panelis memberikan preferensi konsistensi nilai intensitas *sweetness* yang jauh lebih tinggi ketika seduhan memiliki kandungan magnesium yang cukup dan didukung oleh keberadaan kalsium pada batas tertentu.

Tabel IV.21. ANOVA Analisis Intensitas *Sweetness*

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
	Model	1.31	2	0.6526	0.7807	0.4841	not significant
	A-MgSO ₄	0.0102	1	0.0102	0.0121	0.9144	
	B-CaCl ₂	1.30	1	1.30	1.55	0.2416	
	Residual	8.36	10	0.8359			
	Lack of Fit	1.84	6	0.3075	0.1888	0.9641	not significant
	Pure Error	6.51	4	1.63			
	Cor Total	9.66	12				

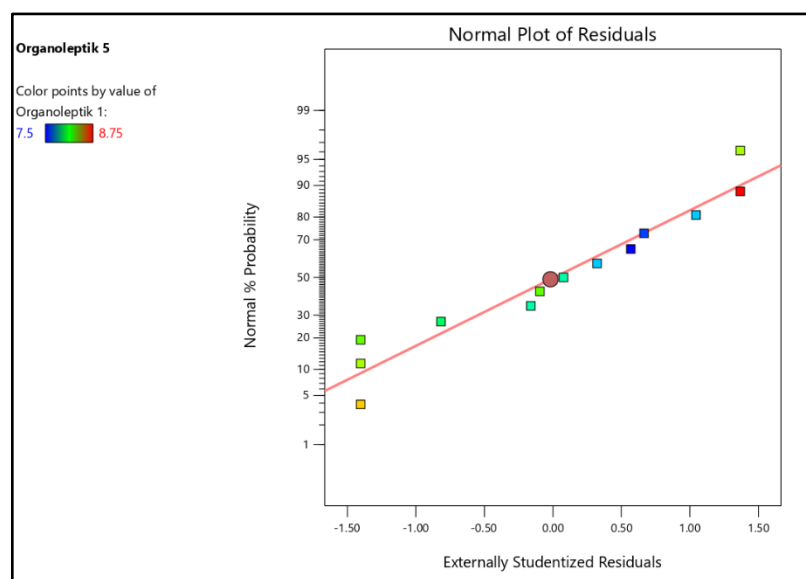
Model polinomial yang disarankan oleh software Design Expert untuk intensitas *sweetness* adalah quadratic pada tabel ANOVA menunjukkan bahwa pada taraf 5% model linear yang direkomendasikan adalah significant, dengan nilai P adalah 0.4841. Maka “Prob>F” atau P lebih kecil dari 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi antara Magnesium Sulfat (MgSO₄) dan Kalsium Klorida (CaCl₂) memberikan nilai yang berbeda nyata atau significant terhadap atribut intensitas *sweetness*. Nilai F Lack of fit sebesar 0,9641 menunjukkan bahwa lack of fit not significant menunjukkan bahwa adanya kesesuaian antara model dengan data hasil analisis intensitas *sweetness*.

Tabel IV.22. Fit Statistic Analisis Kuantitas dan Kualitas *Sweetness*

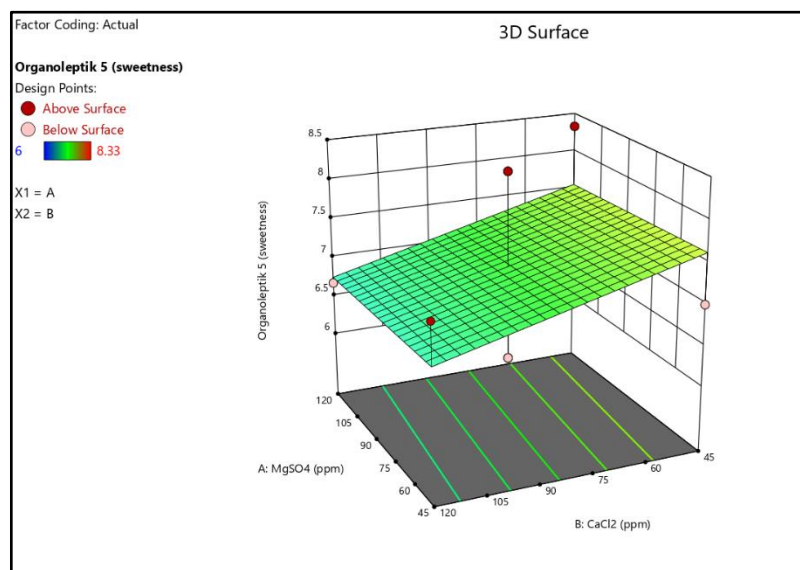
	Std. Dev.	0.9143		R²	0.1351
	Mean	7.18		Adjusted R²	-0.0379
	C.V. %	12.74		Predicted R²	-0.1813
				Adeq Precision	2.5901

Berdasarkan hasil analisis varians dan uji kelayakan model (fit statistics) untuk respon *sweetness* (kemanisan) Nilai rata-rata (*mean*) untuk hasil analisis intensitas *sweetness* adalah 7,63 % dengan standar deviasi sebesar 0,1308, nilai R² yang

sangat rendah yaitu sebesar 0,1351. Fenomena ini diikuti oleh nilai Adjusted R^2 sebesar -0,0379 dan Predicted R^2 sebesar -0,1813 yang keduanya terdeteksi bernilai negatif. Selain itu, nilai koefisien variasi C.V. % membengkok hingga 12,74% dengan nilai ketepatan sinyal (*Adequate Precision*) hanya sebesar 2,5901. Angka-angka statistik ini mengonfirmasi secara mutlak bahwa model regresi kuadratik yang diajukan oleh software mengalami kegagalan total (model misfit) dalam memetakan pengaruh kombinasi mineral terhadap kemanisan kopi Java Preanger natural.



Gambar IV.13. Grafik Kenormalan Internally Studentized Residuals Intensitas *Sweetness*



Gambar IV.14. Grafik 3D Surface Analisis Intensitas *Sweetness*

Berdasarkan grafik 3D Surface hubungan interaksi antar komponen dapat dilihat dari warna dan bentuk permukaan. Nilai analisis intensitas *sweetness* paling tinggi sebesar 8,33 dengan kombinasi formulasi (1, 9 dan 10) dengan komposisi pada formula 1 tersebut Magnesium Sulfat (MgSO_4) 120 ppm dan Kalsium Klorida (CaCl_2) 45 ppm dan pada formula 9 dan 10 konsentrasi Magnesium Sulfat (MgSO_4) 83 ppm dan Kalsium Klorida (CaCl_2) 83, Sedangkan intensitas *sweetness* paling rendah sebesar 6 pada kombinasi formulasi (3, 5 dan 7) dengan formula komposisi ke-3 nya Magnesium Sulfat (MgSO_4) 83 ppm dan Kalsium Klorida (CaCl_2) 83 ppm.

IV.1.2.6 Hasil Analisis Intensitas *Mouthfeel*

Dalam protokol evaluasi sensoris standar Specialty Coffee Association (SCA), mouthfeel atau body merupakan bentuk penilaian taktil terhadap sifat fisik cairan seduhan di dalam rongga mulut, yang diukur berdasarkan intensitas ketebalan (*heaviness*), kekentalan (*viscosity*), dan tekstur (seperti *creamy*, *buttery*, *smooth*, atau *watery*) (Specialty Coffee Association, 2021). Secara fisikokimia, *mouthfeel* pada kopi tidak dipengaruhi oleh komponen asam atau gula sederhana, melainkan ditentukan oleh kuantitas padatan tersuspensi non-larut, senyawa makromolekul seperti melanoidin, kompleks protein-polisakarida, serta emulsi minyak kopi (lipid

esensial) yang berhasil ditransfer ke dalam cangkir (Navarini, L., & Rivetti, 2010). Mekanisme retensi dan stabilisasi senyawa makromolekul sejenis koloid ini di dalam air seduh sangat bergantung pada fenomena gaya elektrostatik dan polaritas kation yang dipasok oleh mineral air (Hendon et al., 2014).

Tabel IV.23. Hasil Analisis Intensitas *Mouthfeel*

Formula	MgSO ₄ (ppm)	CaCl ₂ (ppm)	<i>Mouthfeel</i>
1	120	45	7
2	120	100	8
3	83	83	7.75
4	83	136	8.25
5	83	83	7.75
6	45	120	7.67
7	83	83	8
8	30	83	7.75
9	83	83	7.5
10	83	83	7.5
11	45	45	7.92
12	136	83	7.58
13	83	30	7.83

Berdasarkan data hasil pengujian yang tertera pada tabel 25, nilai intensitas *mouthfeel* dari 13 formula menunjukkan variasi kekuatan seduhan yang signifikan akibat penambahan mineral air penyeduh. Nilai intensitas *mouthfeel* terendah dicapai oleh formula 1 sebesar (7) dengan keterangan *thin body*, yang dikondisikan dengan kombinasi formula tersebut adalah MgSO₄ (120 ppm) dan CaCl₂ (45 ppm). Sebaliknya, nilai intensitas *mouthfeel* tertinggi dicapai 8 formula yaitu oleh formula (2 dan 7) pada formula (2) memiliki kombinasi mineral yang sama yaitu MgSO₄ (120 ppm) dan CaCl₂ (100 ppm) dan pada formula (7) memiliki kombinasi mineral yang sama yaitu MgSO₄ (83 ppm) dan CaCl₂ (83 ppm) dengan keterangan good

acidity. Sementara itu, kelompok formula yang berada pada titik pusat (center points) yaitu Formula 3, 5, 7, 9, dan 10 menggunakan kombinasi tetap MgSO_4 (83 ppm) dan CaCl_2 (83 ppm) menghasilkan konsistensi nilai *mouthfeel* yang sangat stabil dan seragam pada rentang (7,5 – 8). Tren ini mengindikasikan secara jelas bahwa preferensi panelis terhadap tekstur dan bobot seduhan kopi Java Preanger natural berbanding lurus dengan peningkatan konsentrasi kalsium di dalam air.

Tabel IV.24. ANOVA Analisis Intensitas *Mouthfeel*

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
	Model	0.7040	3	0.2347	4.98	0.0264	significant
	A-MgSO ₄	0.0888	1	0.0888	1.88	0.2032	
	B-CaCl ₂	0.2217	1	0.2217	4.70	0.0583	
	AB	0.3914	1	0.3914	8.30	0.0181	
	Residual	0.4243	9	0.0471			
	Lack of Fit	0.2493	5	0.0499	1.14	0.4625	not significant
	Pure Error	0.1750	4	0.0438			
	Cor Total	1.13	12				

Model polinomial yang disarankan oleh software Design Expert untuk intensitas *mouthfeel* adalah quadratic pada tabel ANOVA menunjukkan bahwa pada taraf 5% model linear yang direkomendasikan adalah significant, dengan nilai P adalah 0.0264 Maka “Prob>F” atau P lebih kecil dari 0,05. Hal ini menunjukan bahwa kombinasi antara Magnesium Sulfat (MgSO_4) dan Kalsium Klorida (CaCl_2) memberikan nilai yang berbeda nyata atau significant terhadap atribut intensitas *mouthfeel*. Nilai F Lack of fit sebesar 0,4625 menunjukan bahwa lack of fit not significant menunjukan bahwa adanya kesesuaian antara model dengan data hasil analisis intensitas *mouthfeel*.

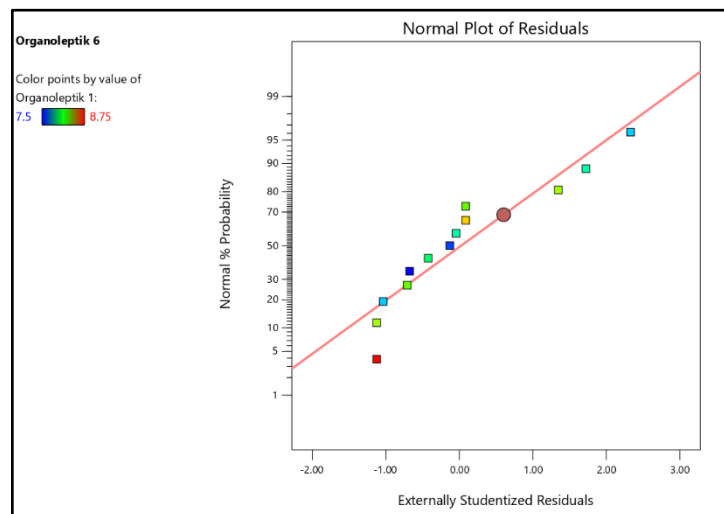
Tabel IV.25. Fit Statistic Intensitas *Mouthfeel*

	Std. Dev.	0.2171	R²	0.6239
	Mean	7.73	Adjusted R²	0.4985
	C.V. %	2.81	Predicted R²	0.2284
			Adeq Precision	7.9586

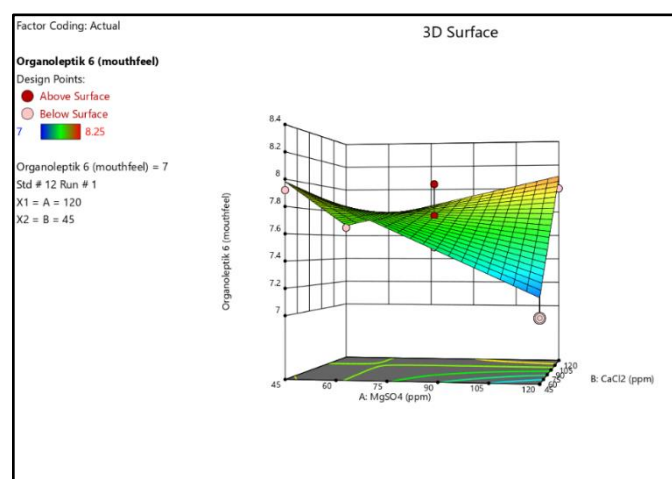
Nilai rata-rata (*mean*) untuk hasil analisis intensitas *mouthfeel* adalah 7,73 % dengan standar deviasi sebesar 0,2171. Nilai R^2 sebesar 0.6239, Nilai adjust R^2 sebesar 0,4985 serta predicted R^2 sebesar 0.2284 maka selisih perbedaannya lebih dari 0,2 hal tersebut menunjukkan bahwa model ini *not in reasonable agreement*. Kemudian nilai adeq precision sebesar 7,9586. Nilai yang lebih besar dari 4 menunjukkan sinyal yang memadai. Model ini dapat digunakan untuk menavigasi design space. Menurut (Douglas C. Montgomery, 2017) Jika deviasi di antara keduanya melebihi (0,20) hal ini mengindikasikan adanya gejala overfitting atau terdapat gangguan noise yang tinggi yang melemahkan kemampuan model untuk memprediksi titik koordinat baru di luar total formula eksperimen. Meskipun demikian, batas kelayakan navigasi model masih dapat ditoleransi jika nilai Adequate Precision berada di atas angka batas minimum 4,00, yang menandakan rasio sinyal terhadap gangguan masih cukup memadai.

$$Y = 7,73 - 0,1054A + 0,1665B + 0,3128AB$$

Berdasarkan skor diatas maka dapat disimpulkan bahwa komponen Konstanta, A (Magnesium Sulfat ($MgSO_4$)), B (Kalsium Klorida ($CaCl_2$)), AB (Interaksi Dua Faktor), berpengaruh nyata terhadap respon intensitas *mouthfeel*, ditandai dengan adanya indikasi nilai positif (+). Komponen yang kontribusi terbesar adalah komponen AB (Interaksi Dua Faktor) dengan nilai 0,3128



Gambar IV.15. Grafik Kenormalan Internally Studentized Residuals Intensitas *Mouthfeel*



Gambar IV.16. Grafik 3D Surface Analisis Intensitas *Mouthfeel*

Berdasarkan grafik 3D Surface hubungan interaksi antar komponen dapat dilihat dari warna dan bentuk permukaan. Nilai analisis intensitas *mouthfeel* paling tinggi sebesar 8,25 dengan kombinasi formulasi (4) dengan komposisi pada formula tersebut adalah Magnesium Sulfat (MgSO_4) 83 ppm dan Kalsium Klorida (CaCl_2) 136 ppm, Sedangkan intensitas *mouthfeel* paling rendah sebesar 7 pada kombinasi formulasi (1) dengan formula komposisi Magnesium Sulfat (MgSO_4) 120 ppm dan Kalsium Klorida (CaCl_2) 45 ppm.

IV.2 Formulasi Optimal

IV.2.1 Penetapan *goal* dan *importance*

Menurut Taufik (2017), penetapan *goals* dan *importance* dilakukan pada setiap respon dan faktor sebagai instrumen fundamental dalam penentuan tujuan optimasi serta nilai pembobotan numerik pada software Design-Expert. Tahapan ini berfungsi untuk mengarahkan algoritma komputer dalam mencari titik koordinat formula yang paling sesuai dengan karakteristik produk yang diinginkan.

Penetapan *goals* dipilih secara selektif berdasarkan nilai target yang dikehendaki pada setiap variabel berubah maupun variabel respon, yang secara umum terdiri dari tiga kriteria utama, yaitu *in range* (berada dalam rentang pengujian), *minimize* (meminimalkan nilai), dan *maximize* (memaksimalkan nilai). Nilai *importance* dipilih berdasarkan tingkat kepentingan dari bobot setiap variabel berubah dan respon yang diamati. Skala pembobotan ini direpresentasikan melalui simbol tingkatan bintang, dimulai dari tingkat terendah yaitu (+) hingga tingkat kepentingan tertinggi yaitu (+++++). Semakin penting peran suatu variabel berubah maupun respon terhadap stabilitas mutu produk, maka bobot importance yang diberikan akan semakin tinggi (Taufik, 2017).

Secara mekanis statistika, nilai *desirability* (fungsi keterpilihan) yang tinggi pada komoditas produk yang paling optimal akan sulit didapatkan jika nilai importance yang dipilih pada seluruh respon diatur terlalu besar atau maksimal secara seragam (Derringer, G., & Suich, 1980). Hal ini terjadi karena algoritma matematika pada sistem akan mengalami konflik pembatas (*constraint conflict*) akibat adanya sifat antagonis antar-respon, di mana peningkatan kualitas pada satu atribut sensoris sering kali mengorbankan atribut lainnya (Granato, D., de Araújo Calado, V. M., & Jarvis, 2014). Oleh karena itu, pembobotan importance harus ditentukan secara asimetris berdasarkan skala prioritas atribut mutu pangan. Penetapan goal dan importance dapat dilihat pada tabel 28.

Tabel IV.26. Penetapan Goal Dan Importance Air penyeduh kopi

Variabel / Respon	<i>Goal</i>	Batas Bawah	Batas Atas	<i>Importance</i>
Magnesium Sulfat (MgSO ₄)	<i>In-Range</i>	45	120	+++++
Kalsium Klorida (CaCl ₂)	<i>In-Range</i>	45	120	+++++
Total Padatan Terlarut (TDS)	<i>In-Range</i>	90	241	+++++
pH	<i>In-Range</i>	5,35	5,93	+++++

Variabel bebas yang meliputi konsentrasi MgSO₄ dan CaCl₂ ditetapkan pada kriteria In-Range dengan bobot importance maksimal karena kedua zat yang menjadi variable bebas ini bertindak sebagai faktor kontrol utama (independen variables) yang mengendalikan seluruh kinetika transfer massa senyawa organik dari bubuk kopi ke dalam cangkir seduh.

Pada kelompok respon fisikokimia, Total Padatan Terlarut (TDS) diatur pada kriteria In-Range dengan bobot kepentingan penuh (+++++). Kebijakan memaksimalkan nilai TDS (90–241 ppm) selaras dengan prinsip ekstraksi specialty coffee di mana keberadaan muatan ion kation Mg²⁺ dan Ca²⁺ yang tinggi di dalam air berperan penting sebagai agen penarik senyawa volatil dan non-volatil yang hasil akhir nya akan mempengaruhi rasa dan tekstur dari air kopi itu sendiri.

Pada kelompok respon fisikokimia, pH diatur pada kriteria In-Range dengan bobot kepentingan penuh (+++++). pH (5,35–5,93) berfungsi sebagai sistem penyangga (buffering mechanism) yang sangat vital bagi kopi Java Preanger proses natural. Kopi proses natural secara intrinsik memiliki kandungan asam organik pekat (sitrat dan malat) yang sangat tinggi. Jika pH air seduh berada pada batas bawah, persepsi sensoris kopi akan bergeser menjadi terlalu asam kecut (*sourness*) yang tidak nyaman. Kriteria In-Range menjamin air memiliki kapasitas netralisasi asam yang ideal guna mentransformasikan keasaman pekat tersebut menjadi sensasi rasa yang cerah dan bersih (*bright acidity*).

Tabel IV.27. Penetapan Goal Dan Importance Air seduhan kopi

Variabel / Respon	<i>Goal</i>	Batas Bawah	Batas Atas	<i>Importance</i>
Aroma	<i>Maximize</i>	6	8,75	+++
Flavor	<i>Maximize</i>	6	7,83	+++++
<i>Aftertaste</i>	<i>Maximize</i>	6	8,25	+++++
<i>Acidity</i>	<i>Maximize</i>	6	8	+++++
<i>Sweetness</i>	<i>Maximize</i>	6	8,33	++
<i>Mouthfeel</i>	<i>Maximize</i>	6	8,25	+++++

Pada kelompok organoleptic, Aroma diseting Maximize karena aroma adalah impresi ortonasal pertama yang membangun ekspektasi sensori panelis. Namun, pemberian bobot importance (+++) karena senyawa aromatik kopi bersifat sangat volatil (mudah menguap) dan sangat sensitif terhadap penurunan suhu seduhan seiring berjalannya waktu penyajian di meja cupping. Jika parameter yang fluktuatif dan tidak stabil ini dipaksakan memegang bobot maksimal (+++++), algoritma untuk optimasi ini akan ikut menjadi tidak stabil dan berisiko mengorbankan parameter rasa lain yang jauh lebih konsisten di dalam cangkir.

Atribut flavor merupakan interaksi holistik antara rasa yang terdeteksi kuncup pengecap lidah (*taste*) dan senyawa aromatik yang naik ke rongga hidung belakang saat kopi diseruput (retronasal aroma). Berdasarkan protokol Specialty Coffee Association (SCA), flavor adalah motor penggerak utama (*driving factor*) preferensi panelis. Oleh karena itu, flavor wajib diberikan bobot tertinggi (+++++) agar software menjadikan profil rasa keseluruhan sebagai prioritas absolut dalam merumuskan air seduh optimal.

Aftertaste diatur pada bobot maksimal (+++++). Kopi proses natural yang diseduh dengan air bermineral tinggi rawan mengekstraksi senyawa berbobot molekul besar yang meninggalkan rasa pahit-pahit gosong yang mengikat lama di tenggorokan (*lingering bitterness*). Dengan mengunci parameter ini pada bobot tertinggi,

algoritma optimasi ini secara matematis diharuskan untuk menolak formula air yang memicu rasa sisa yang kotor dan tidak diinginkan, dan hanya memilih kombinasi mineral yang mampu meninggalkan rasa manis yang bersih dan panjang (*sweet lingering aftertaste*).

Acidity yang cerah, hidup, dan menyerupai buah (*vibrant fruity acidity*) adalah identitas orisinal paling berharga dari kopi Arabica Java Preanger proses natural. Secara kimiawi, keasaman ini sangat bergantung pada keberadaan kation magnesium Mg^{2+} yang bertindak sebagai agen penarik asam sitrat dan asam malat yang efisien. Memberikan bobot kepentingan maksimal (+++++) bertujuan untuk memastikan bahwa keunggulan genetik dan karakter lokal kopi Java Preanger ini tidak tenggelam atau menjadi datar (flat) akibat dominasi kalsium yang berlebih.

Respon *sweetness* target optimasi tetap disetel pada kriteria Maximize demi menjaga komitmen awal untuk menghasilkan profil seduhan kopi Java Preanger yang manis dan seimbang. Namun, nilai importance diturunkan secara agresif ke level rendah-moderat (++) sebagai bentuk tindakan proteksi statistik (statistical protection) yang sangat taktis, Ketidakkonsistenan psikofisik manusia dalam mendeteksi rasa manis pada kopi murni (yang sering kali terbiaskan oleh efek penutupan atau *masking effect* dari senyawa asam dan pahit) menyebabkan kerusakan fatal pada pemodelan matematisnya.

Respon *mouthfeel* menunjukkan tren kuadratik yang sangat stabil dan responsif terhadap mineral air. Atribut ini dikendalikan oleh kemampuan kation kalsium (Ca^{2+}) yang bertindak sebagai jembatan koordinasi (*cationic bridging*) untuk mengikat emulsi minyak kopi (lipid esensial) dan makromolekul melanoidin hasil penyangraian. Penguncian bobot pada level tertinggi (+++++) sangat krusial agar formula optimal yang dihasilkan tidak melahirkan cangkir kopi yang encer, kosong, dan berair seperti teh (*thin and watery body*), melainkan cangkir kopi dengan tekstur yang bulat, tebal, dan lembut (*creamy/smooth body*)

IV.2.2 Penentuan Formulasi Optimal

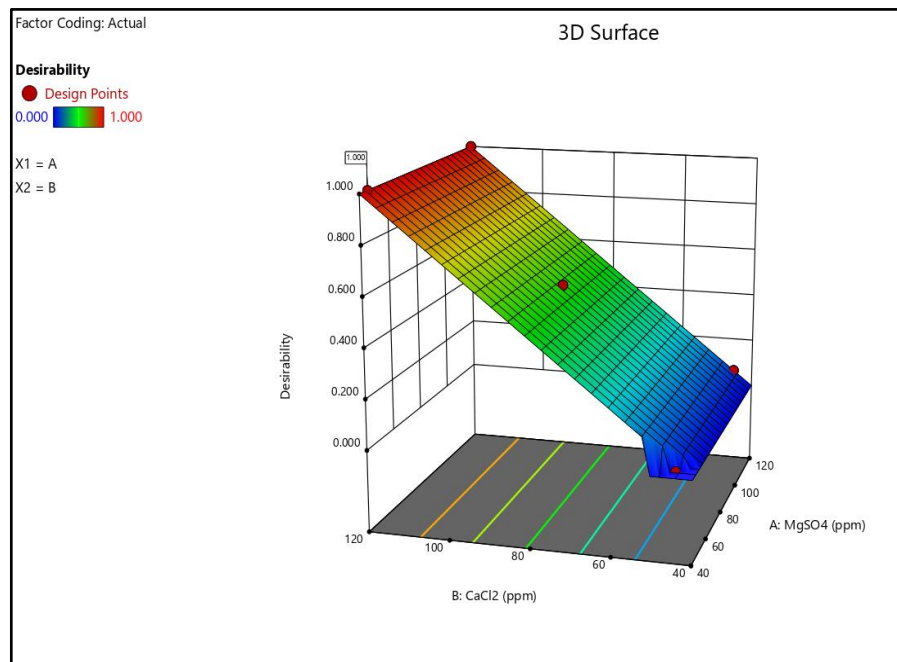
Menurut (Taufik, 2017), proses optimasi formula bertujuan untuk mendapatkan formulasi optimal dengan respon yang optimal. Proses optimasi ini dipilih dengan nilai *Desirability* tertinggi berdasarkan penetapan target (*goals*) dan tingkat kepentingan (*importance*) yang diharapkan. Nilai *Desirability* merupakan nilai fungsi yang menunjukkan apakah hasil software dapat mendekati titik optimum. Nilai *desirability* berkisar antara 0–1, di mana titik optimum yang baik memiliki nilai *desirability* mendekati 1 (Hidayat, R., Wijaya, A., & Saputra, 2021). Sebaliknya, nilai *Desirability* yang mendekati 0 menandakan bahwa formulasi produk tersebut tidak dapat mencapai titik optimal berdasarkan variabel responnya (Wulandari, 2016). Keberadaan nilai *desirability* sebesar 0,834 pada penelitian ini membuktikan keakuratan titik koordinat yang direkomendasikan sistem dalam mendekati seluruh target mutu respon sensoris kopi

Tabel IV.28. Rekomendasi Formulasi Optimal Produk Air penyeduh kopi

No.	MgSO ⁴ (ppm)	CaCl ² (ppm)	TDS (ppm)	pH	Desirability	
1	111,767	120,00	232,354	5,733	1.00	Selected

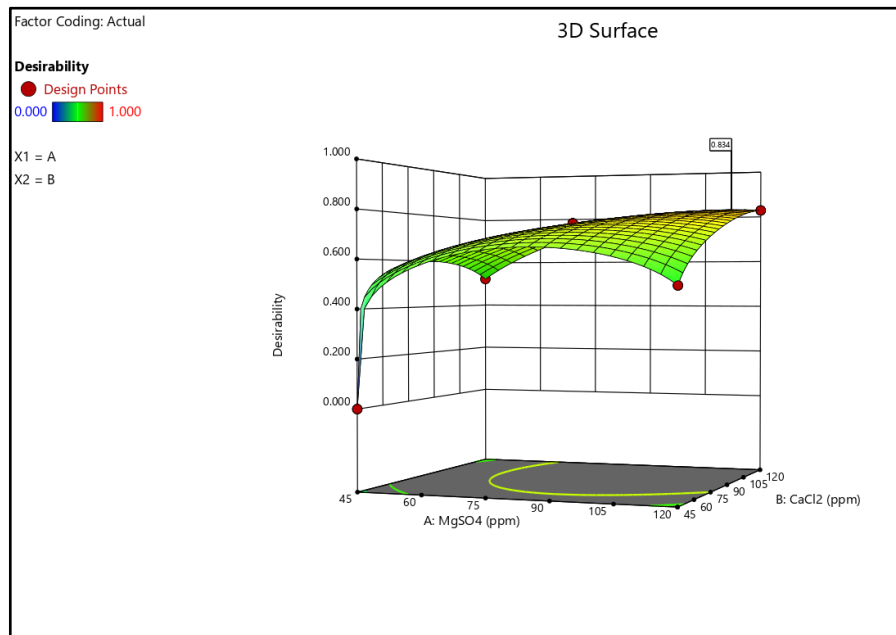
Tabel IV.29. Rekomendasi Formulasi Optimal Produk Air seduhan kopi

No	MgSO ⁴ (ppm)	CaCl ² (ppm)	Aroma	Flavor	<i>Aftertaste</i>	<i>Acidity</i>	<i>Sweetness</i>	<i>Mouthfeel</i>	<i>Desirability</i>	
1	112,393	120,00	8,281	7,782	8,061	7,943	6,752	8,062	0,834	Selected



Gambar IV.17. Grafik *Desirability* Formulasi Optimal Produk Air seduhan kopi

Berdasarkan grafik di atas dihasilkan nilai *desirability* air penyeduh kopi pada formulasi optimal mendapat nilai 1,00. Hasil formulasi optimal diprediksi memiliki Total Padatan Terlarut (TDS) 232,354 ppm, pH 5,733.



Gambar IV.19. Grafik *Desirability* Formulasi Optimal Produk Air seduhan kopi

Berdasarkan grafik di atas dihasilkan nilai *desirability* air seduhan kopi pada formulasi optimal mendekati 1 sebesar 0,834. Hasil formulasi optimal diprediksi memiliki Total Padatan Terlarut (TDS) 232,985 ppm, pH 5,730, Aroma 8,281, *Flavor* 7,782, *Aftertaste* 8,061, *Acidity* 7,943, *Sweetness* 6,752, *Mouthfeel* 8,062

Tabel IV.30. Hasil Point Prediction pada Produk Air Penyeduh kopi

Solution 1 of 11 Response	Predicted Mean	Predicted Median	Observed	Std Dev	SE Mean	95% CI low for Mean	95% CI high for Mean	95% TI low for 99% Pop	95% TI high for 99% Pop
TDS	165.05	165.05		0.587801	0.336179	164.301	165.799	162.029	168.071
pH	5.46616	5.46616		0.123069	0.0973226	5.23603	5.69629	4.71207	6.22025

Tabel IV.31. Hasil Point Prediction pada Produk Air Seduan kopi

Solution 1 of 11 Response	Predicted Mean	Predicted Median	Observed	Std Dev	SE Mean	95% CI low for Mean	95% CI high for Mean	95% TI low for 99% Pop	95% TI high for 99% Pop
Aroma	8.28142	8.28142		0.168999	0.113556	8.0129	8.54994	7.28396	9.27889
Flavor	7.78224	7.78224		0.11857	0.0796711	7.59385	7.97064	7.08242	8.48207
Aftertaste	8.06088	8.06088		0.158454	0.106471	7.80911	8.31264	7.12565	8.9961
acidity	7.94272	7.94272		0.130835	0.0879124	7.73484	8.1506	7.17051	8.71493
Sweetness	6.75244	6.75244		0.9143	0.481342	5.67994	7.82494	2.12821	11.3767
mouthfeal	8.06183	8.06183		0.217137	0.142539	7.73938	8.38428	6.88037	9.24329

Tabel di atas digunakan untuk verifikasi respon formulasi optimal dengan membandingkan hasil respon formulasi optimal dengan nilai CI dan PI yang dihasilkan oleh Design Expert. Tabel Point Prediction dan confirmation akan menghasilkan confidence interval (CI) dan prediction interval (PI) untuk setiap nilai prediksi respon pada taraf signifikansi 5%.

IV.2.3 Verifikasi Formulasi Optimal

Formulasi optimal yang dihasilkan oleh Design Expert akan dianalisis kembali berdasarkan respon kimia (Total Padatan Terlarut (TDS) dan pH) respon organoleptik (Aroma, Flavor, *Aftertaste*, *Acidity*, *Sweetness* dan *Mouthfeal*). Tujuan dari tahap verifikasi adalah untuk mengetahui nilai aktual dari formulasi optimal dan dibandingkan dengan prediksi yang dihasilkan oleh Design Expert.

Untuk menyatakan bahwa hasil pembuktian di laboratorium benar-benar valid dan akurat, software Design-Expert menyediakan dua jenis interval pembanding pada taraf signifikansi 5% (tingkat kepercayaan 95%), yaitu Confidence Interval (CI) dan Prediction Interval (PI) (Stat-Ease, 2021). Menurut Stat-Ease, 2021, Confidence Interval (CI) merupakan rentang yang mengukur standar kesalahan dari nilai rata-rata (standard error of the mean) untuk memitigasi kesalahan acak dari seluruh data historis yang sudah masuk ke dalam sistem. Jika eksperimen diulangi tanpa batas, rentang CI 95% akan berisi nilai rata-rata populasi yang sebenarnya.

Sebaliknya, (Whitcomb, 2019) menyatakan bahwa Prediction Interval (PI) merupakan interval ekspektasi yang dirancang khusus untuk memprediksi hasil dari satu titik pengamatan tunggal yang baru (a single unique observation) di masa depan pada kondisi operasi yang sama. Rentang PI secara mekanis selalu dirancang lebih lebar daripada rentang CI karena PI memperhitungkan dua komponen variabilitas sekaligus, yaitu variasi internal dari model prediksi komputasi dan variasi acak dari replikasi fisik yang baru di lapangan (Stat-Ease, 2021)

Tabel IV.32. Hasil Verifikasi Formulasi Optimal Air Penyeduh Kopi

Solution 1 of 11 Response	Predicted Mean	Predicted Median	Observed	Std Dev	n	SE Pred	95% PI low	Data Mean	95% PI high
TDS	232.256	232.256		0.587801	1	0.66335	230.778	232	233.734
pH	5.73317	5.73317		0.123069	1	0.147705	5.38391	6.02	6.08244

Tabel IV.33. Hasil Verifikasi Formulasi Optimal Air seduhan Kopi

Solution 1 of 11 Response	Predicted Mean	Predicted Median	Observed	Std Dev	n	SE Pred	95% PI low	Data Mean	95% PI high
Aroma	8.28142	8.28142		0.168999	1	0.203607	7.79997	8.25	8.76288
Flavor	7.78224	7.78224		0.11857	1	0.142851	7.44446	8	8.12003
Aftertaste	8.06088	8.06088		0.158454	1	0.190903	7.60946	8.25	8.51229
acidity	7.94272	7.94272		0.130835	1	0.157627	7.56999	8.25	8.31545
Sweetness	6.75244	6.75244		0.9143	1	1.03326	4.45018	6	9.05469
mouthfeal	8.06183	8.06183		0.217137	1	0.259742	7.47425	8.25	8.64941

Berdasarkan data analisis yang dihasilkan, data tersebut memiliki hasil yang tidak berbeda jauh dengan prediksi yang dikeluarkan oleh program Design Expert 13. Keseluruhan hasil analisis masuk ke dalam rentang PI (Prediction Interval). PI (Prediction Interval) merupakan rentang yang menunjukkan ekspektasi hasil pengukuran pada kondisi sama pada taraf tertentu dengan intensitas pada tabel dengan kualitas:

- Aroma : *Over ripe fruit, prune, chocolate finish*
- Flavor : *Mango, starfruit, pineapple, slight berry fruit, chocolate finish*
- Aftertaste : *Long, astringent like lemon peel*
- Acidity : *Light malic to citric like tropical fruit, hit sharp*
- Sweetness : Fruktosa
- Mouthfeel : *Juicy, mouth drying finis*

Bab V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menguraikan: (5.1) Kesimpulan dan (5.2) Saran

V.1 Kesimpulan

Konsentrasi MgSO_4 dan CaCl_2 dalam air seduhan berpengaruh signifikan ($p < 0,05$) terhadap hampir seluruh respon yang diuji, yaitu TDS, pH, Aroma, Flavor, *Aftertaste*, *Acidity*, dan *Mouthfeel*, kecuali *Sweetness* yang modelnya tidak valid secara statistik. Interaksi antara kedua mineral (efek AB) menjadi kontributor terbesar pada atribut *Aftertaste* dan *Mouthfeel*, sementara MgSO_4 secara individual paling berpengaruh terhadap Aroma dan *Acidity*, sejalan dengan teori kerapatan muatan ion Mg^{2+} . Formulasi optimal yang direkomendasikan Design Expert adalah MgSO_4 sebesar 112,393 ppm dan CaCl_2 sebesar 120 ppm, menghasilkan prediksi TDS 232,985 ppm, pH 5,73, dan profil sensorik dengan karakter over ripe fruit, mango, tropical fruit, serta juicy mouthfeel dengan desirability 0,834. Hasil verifikasi di laboratorium mengonfirmasi bahwa nilai aktual seluruh respon masuk ke dalam Prediction Interval (PI) 95%, sehingga model RSM-CCD yang dibangun valid dan dapat direproduksi.

V.2 Saran

Berdasarkan keterbatasan dan temuan selama penelitian berlangsung, penulis memberikan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Evaluasi Metodologi Uji Sensoris Sweetness

Mengingat model regresi untuk atribut *sweetness* mengalami kegagalan total ($\text{misfit} / R^2 = 0,1351$) akibat tingginya noise dan bias persepsi panelis terhadap rasa manis yang tertutupi oleh *acidity* mengatasi ini bias dengan menambahkan factor zat Kalium (K^+), penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan metode uji sensoris yang lebih terarah (seperti Time-Intensity Method) Penambahan Mineral Buffer (Alkalinitas)

Pada uji verifikasi formulasi optimal, deskriptor mouthfeel masih menyisakan catatan mouth-drying finish (astringency/kesat) yang kurang diinginkan dalam standar specialty coffee. Disarankan bagi penelitian lanjutan untuk menginvestigasi penambahan mineral penyangga (buffer) seperti Natrium Bikarbonat (NaHCO_3) ke dalam formulasi air guna meningkatkan alkalinitas, menetralkan keasaman berlebih, dan mengubah finish menjadi lebih juicy atau creamy.

2. Pengujian pada Varietas dan Metode Seduh Lain

Penelitian ini dibatasi pada kopi Jawa Preanger dengan proses pasca-panen natural menggunakan metode batch brew. Disarankan untuk menguji ketahanan model formulasi air ini pada metode ekstraksi bertekanan (seperti Espresso atau AeroPress) serta pada kopi dengan proses washed untuk mengetahui apakah rasio Mg^{2+} dan Ca^{2+} yang optimal bersifat universal atau spesifik terhadap densitas dan kelarutan biji kopi.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik. (2019). *Peraturan Badan Pengawas Obat Dan Makanan Nomor 11 Tahun 2019 Tentang Bahan Tambahan Pangan*. Jakarta: BPOM RI.
- Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). (2021). *Protokol CLSI C46 Dan GP44*.
- Darmadji, P. (2004). Karakteristik Fisikokimia Dan Sifat Antioksidatif Kopi Sangrai. Jember: Materi Workshop Pengolahan Kopi Dan Kakao (Puslitkoka).
- Derringer, G., & Suich, R. (1980). *Simultaneous Optimization of Several Response Variables*. *Journal of Quality Technology*, 12(4), 214–219.
- Douglas C. Montgomery. (2017). *Design and Analysis Experiments*. In *Mycological Research* (Vol. 106, Issue 11). <https://lccn.loc.gov/2017002355>
- Dwi Cahyo Nugroho S. (2021). Prospek Peningkatan Produksi Kopi (*Coffea Sp*) di Indonesia. Fakultas Pertanian Universitas Tribhuwana Tunggal dewi , Malang
- Efthimiadis, A. K. (2012). *Water Chemistry for Coffee Brewing Professionals*. London: Specialty Coffee Association of Europe (SCAE) Publication.
- (FAO), W. H. O. (WHO) & F. and A. O. (2004). *Vitamin and Mineral Requirements in Human Nutrition*, 2nd ed.
- Garnida, Y. (2020). Inderawi dan Sensori Pada Industri Pangan. Bandung: Universitas Pasundan
- Granato, D., de Araújo Calado, V. M., & Jarvis, B. (2014). Observations on the use of statistical methods in Food Science and Technology. *Food Research International*, 55, 137–149.
- Guinard, J. X., Frost, S., Batali, M., Cotter, A., Lim, L. X., & Ristenpart, W. D. (2023). *A new Coffee Brewing Control Chart relating sensory properties and consumer liking to brew strength, extraction yield, and brew ratio*. *Journal of Food Science*, 88(5), 2168–2177. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16531>
- Hendon, C. H., Colonna-Dashwood, L., & Colonna-Dashwood, M. (2014). *The role of dissolved cations in coffee extraction*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(21), 4947–4950. <https://doi.org/10.1021/jf501687c>
- Hidayat, R., Wijaya, A., & Saputra, D. (2021). Penentuan Formulasi Dan Kondisi Optimum Produk Pangan Menggunakan Response Surface Methodology

- (RSM), *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 10(2), 45–53.
- Hoffmann, J. (2018). *The World Atlas of Coffee: From Beans to Brewing - Coffees Explored, Explained and Enjoyed (2nd Ed.)*. London: Mitchell Beazley.
- Idris, T., Wahyudi, W., Pakpahan, M., Endra, T., Tju, E., Handoko, Y., & Khiatuddin, M. (2023). Pohon, P., Liberika, K., Kelompok, D., Kopi, T., Lawang, C., Pandeglang *Community : Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*. 3(2), 1–04. <https://doi.org/10.51903/community.v3i2>
- Kyrogrou, S., Laskari, R., & Vareltzis, P. (2022). *Optimization of Sensory Properties of Cold Brew Coffee Produced by Reduced Pressure Cycles and Its*.
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices*, 2nd.
- Siti Marfu'ah, Nopri Padma Nudesti. (2020). Analisis Kadar Magnesium, Kalsium Dan Kalium Ibu Hamil Preeklamsi Hasil Intervensi Jemur Sinar Matahari *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kesehatan*, 12(2), 89–96.
- Mulato, S. (2002). Simulasi Pengeringan Biji Kopi Secara Mekanis Menggunakan Alat Pengering Tipe Bak. Jember: Pusat Penelitian Kopi Dan Kakao Indonesia.
- Navarini, L., & Rivetti, D. (2010). *Water Quality for Espresso Coffee*. *Food Chemistry*, 122(2), 424–428.
- Pradipta, K., & Kiki, F. (2017). Review *Journal of Brewing Water Differences on Multisensory Perception of Coffee*. *Jurnal Pangan Dan Agroindustri*, 5(1), 85–91.
- World Coffee Research. (2023). *Sensory Lexicon: Unlocking the Flavor of Coffee (2nd Ed.)*.
- Sitepu, Y. G., Ngatirah, & Adisetya, E. (24 C.E.). Analisis Mutu Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) dengan Metode Honey Process. *Agroforetech*, 2(2), 830–836.
- Situmorang, J. (2024). Optimasi Proses Pasca Panen Kopi Berbasis Teknologi Smart Farming Di Indonesia. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 34(1).
- Specialty Coffee Association. (2021). *SCA Standard: Water Quality for Brewing Specialty Coffee*. Santa Ana, CA: SCA.
- Stat-Ease. (2021). *Inference Intervals: Confidence, Prediction, Tolerance in Design-Expert Documentation*. <https://www.statease.com/docs/v13/contents/tutorials/>

- Sunarharum, W. B., Syah, D., & Lioe, H. N. (2019). Profil Volatil Dan Sensoris Kopi Arabika Hasil Fermentasi Dan Pengolahan Pasca Panen. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 30(2), 112–123.
- Taufik, M. (2017). Analisis Dan Optimasi Proses Pangan Dengan Response Surface Methodology. IPB Press.
- Wellinger, M., Smrke, S., & Yeretian, C. (2016). *The Voice Of The Specialty Coffee Association Of Europe For Better Coffe*. 1–4.
- Whitcomb, P. J. (2019). *Formulation Optimization Made Easy via Response Surface Methods and Desirability Functions*. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 14(1), 12–21.
- Wulandari, S. (2016). Optimasi Formulasi Dan Karakteristik Sensori Produk Menggunakan Fungsi *Desirability* Pada *Response Surface Methodology*.
- Yusianto, & Widyotomo, S. (2014). Karakteristik Fisik Dan Citarasa Kopi Arabika Jawa Preanger Pada Berbagai Metode Pengolahan. *Pelita Perkebunan (Coffee and Cocoa Research Journal)*, 30(3), 251-268.

LAMPIRAN

Rumus Formulasi

Lampiran A. Rumus Formulasi (Ppm)

$$Ppm = \frac{mg}{Liter}$$

Rumus Pengenceran

Lampiran C. Rumus Pengenceran

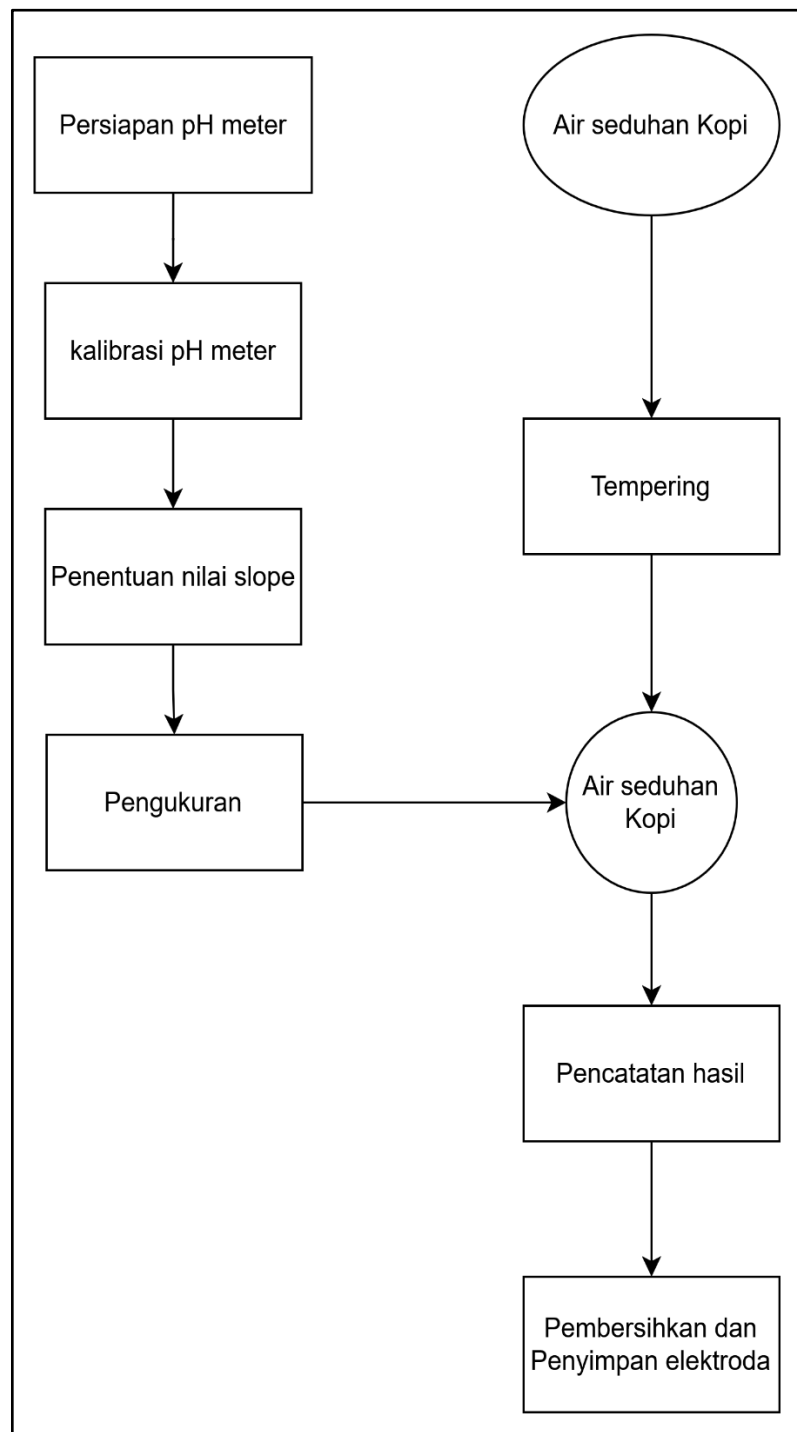
$$V1 \times C1 = V2 \times C2$$

Lampiran E. Prosedur Penggunaan pH meter

Prosedur Penggunaan pH meter

1. pH meter dinyalakan minimal 10–15 menit sebelum digunakan untuk memastikan sirkuit elektronik dalam kondisi stabil.
2. Elektroda dipastikan dalam kondisi terendam larutan penyimpanan (KCl 3M) tanpa adanya gelembung udara pada ujung sensor kaca.
3. Elektroda dibilas dengan aquadest, kemudian dikeringkan dengan cara ditempelkan perlahan pada tisu halus (blotting).
4. Elektroda tidak boleh diusap karena dapat menimbulkan muatan listrik statis yang memengaruhi akurasi pembacaan.
5. Kalibrasi dilakukan minimal pada dua atau tiga titik untuk menjamin linearitas respons alat, yaitu pada titik netral (pH 7,00) sebagai penentu nilai offset, dan titik asam (pH 4,01) yang sangat relevan mengingat kopi Arabika memiliki pH rata-rata pada rentang 4,5–5,5.

6. Nilai kemiringan (slope) kalibrasi dipastikan berada pada rentang 95%–105%. Apabila nilai slope berada di luar rentang tersebut, proses kalibrasi diulang dan hasil pengukuran dinyatakan tidak valid.
7. Fitur Automatic Temperature Compensation (ATC) diaktifkan, atau sampel kopi dibiarkan mendingin hingga suhu ruang (25°C) agar konsisten dengan suhu kalibrasi.
8. Elektroda dicelupkan ke dalam sampel kopi dan digoyangkan perlahan agar seluruh permukaan sensor terpapar cairan secara merata. Nilai pH dicatat setelah indikator "Stable" muncul pada layar alat.
9. Apabila terjadi perlambatan respons sensor, elektroda dibersihkan menggunakan air hangat atau larutan pembersih khusus elektroda.
10. Setelah seluruh pengukuran selesai, elektroda disimpan kembali dalam larutan penyimpanan KCl 3M. Elektroda tidak dibiarkan dalam kondisi kering maupun terendam air suling dalam waktu lama karena dapat merusak membran sensor (Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI, 2021))



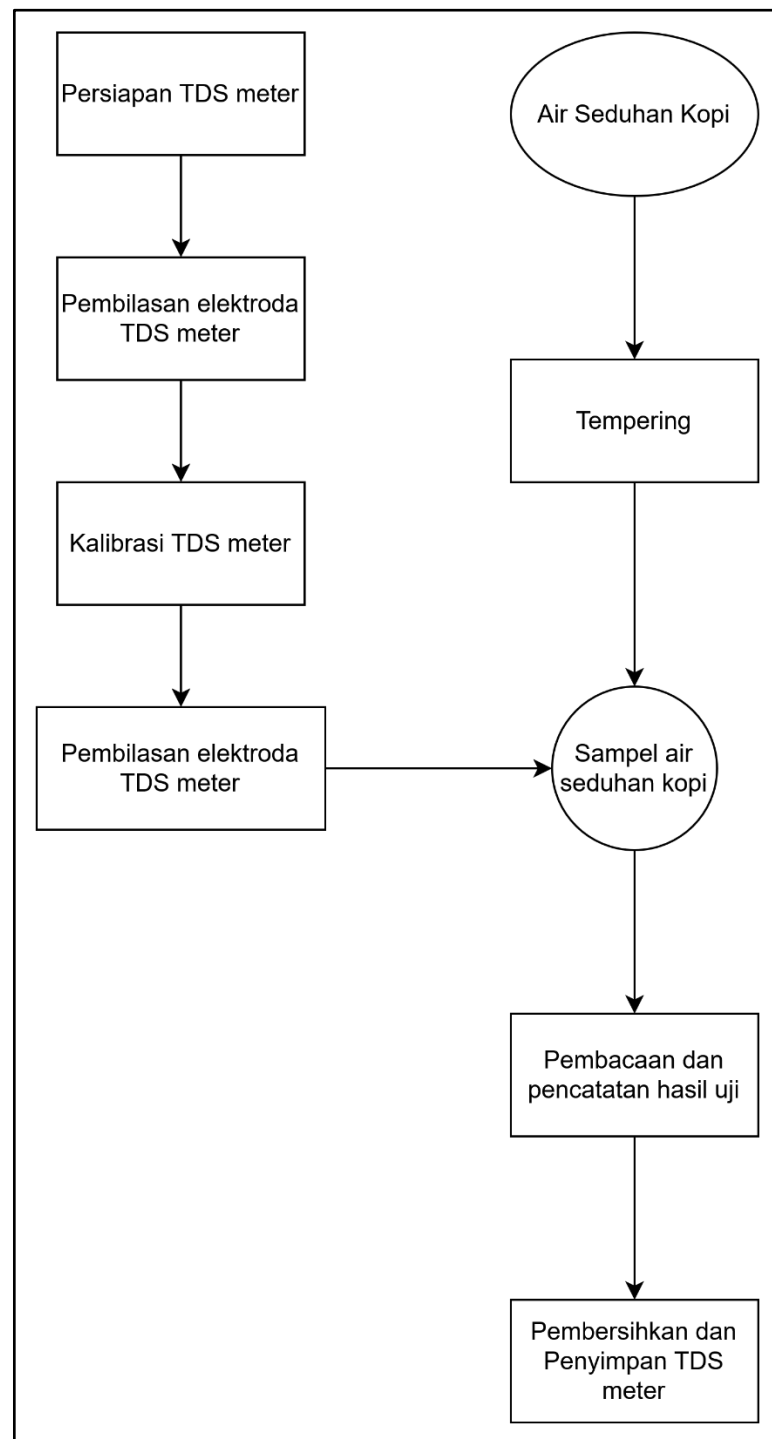
Gambar 0.2. Prosedur Penggunaan pH meter

Gambar 0.3. Prosedur Penggunaan TDS meter
0.4. Prosedur Penggunaan pH meter

Lampiran F. Prosedur Penggunaan TDS meter

Prosedur Penggunaan TDS meter

1. Elektroda TDS meter dibilas menggunakan aquadest (TDS 0) untuk menghilangkan residu mineral dari pengukuran sebelumnya, kemudian larutan kalibrasi standar (KCl atau NaCl) dengan nilai ppm yang mendekati rentang sampel disiapkan.
2. Larutan kalibrasi dan sampel dipastikan berada pada suhu yang sama, idealnya 25°C, sebelum pengukuran dilakukan.
3. Alat dibiarkan melakukan self-test selama 10–15 menit hingga kondisi operasional stabil.
4. Sensor dicelupkan ke dalam larutan standar dan dipastikan tidak ada gelembung udara yang menempel pada pin sensor, karena keberadaan udara dapat menghambat aliran arus listrik dan menyebabkan pembacaan yang lebih rendah dari nilai sebenarnya.
5. Tombol kalibrasi ditekan dan nilai pada layar disesuaikan hingga sesuai dengan nilai larutan standar yang digunakan.
6. Sensor dibilas kembali dengan aquadest, kemudian dicelupkan ulang untuk memverifikasi konsistensi pembacaan alat.
7. TDS meter dicelupkan ke dalam sampel air seduhan kopi yang akan diukur. Alat digoyangkan secara perlahan (swirling) untuk melepaskan gelembung udara dan memastikan ion terdistribusi merata di area sensor.
8. Pembacaan ditunggu hingga nilai pada layar stabil melalui fitur Automatic Temperature Compensation (ATC) yang umumnya memerlukan waktu 10–30 detik, kemudian hasilnya dicatat dalam satuan mg/L atau ppm.
9. Sensor segera dibilas dengan aquadest setelah pengukuran selesai, terutama apabila sampel mengandung padatan organik tinggi seperti seduhan kopi.
10. Sensor segera dibilas dengan aquadest setelah pengukuran selesai, terutama apabila sampel mengandung padatan organik tinggi seperti seduhan kopi.
11. Sensor TDS meter disimpan dalam kondisi bersih dan kering setelah seluruh rangkaian pengukuran selesai dilakukan (CLSI, 2021).



Gambar 0.5. Prosedur Penggunaan TDS meter

Lampiran G. Formulasi Magnesium Sulfat dan Kalsium Klorida

Formula	MgSo ₄ (ppm)	CaCl ₂ (ppm)
1	120	45
2	120	100
3	83	83
4	83	136
5	83	83
6	45	120
7	83	83
8	30	83
9	83	83
10	83	83
11	45	45
12	136	83
13	83	30

Lampiran H. Penelitian Utama

- Dokumentasi Pembuatan Larutan Magnesium Sulfat dan Kalsium Klorida

Tabel 0.1. Dokumentasi Pembuatan Larutan Magnesium Sulfat dan Kalsium Klorida

Persiapan Bahan	
-----------------	--

Penimbangan	
Pelarutan	
Pengemasan	

- Kalsium Klorida

$$\text{Ppm} = \frac{mg}{\text{Liter}}$$

$$\text{Massa} = \left(\frac{10.000}{1000} \right) \times 0,25$$

$$\text{Massa} = 2,500 \text{ g}$$

- Magnesium Sulfat

$$\text{Mr MgSO}_4 = 120,36$$

$$\text{Mr MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 246,47$$

Faktor Koreksi :

$$\text{Faktor} = \frac{\text{Mr MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}}{\text{Mr MgSO}_4}$$

$$\text{Faktor} = \frac{246,47}{120,36} = 2,047$$

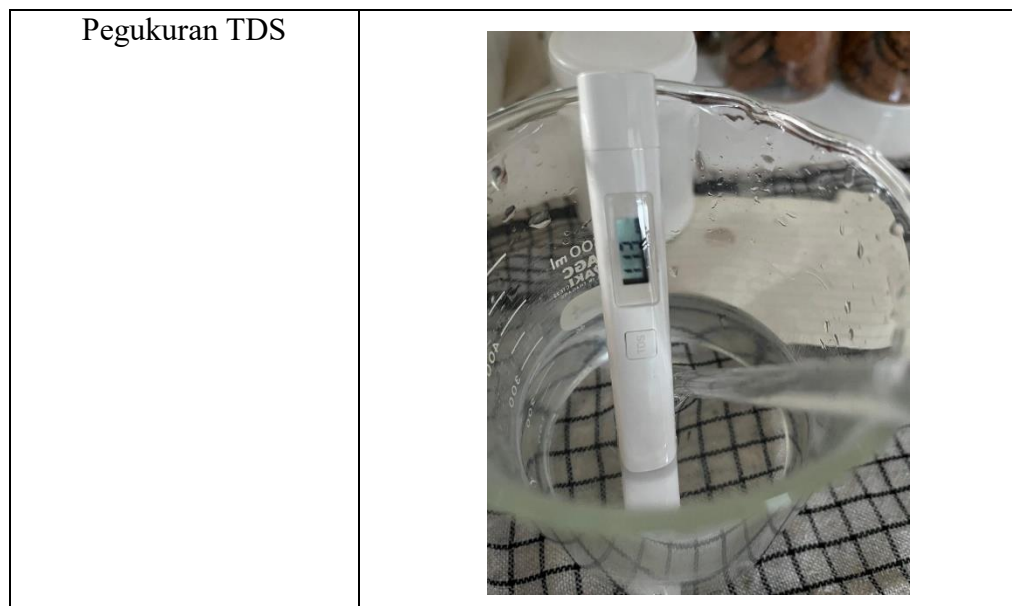
$$\text{Massa} = \left(\frac{10.000 \times 2,047}{1000} \right) \times 0,25$$

$$\text{Massa} = 5,117 \text{ g}$$

- Dokumentasi Analisis kadar TDS

Tabel 0.2. Dokumentasi Analisis Kadar TDS

Persiapan air seduhan kopi	
Persiapan alat	



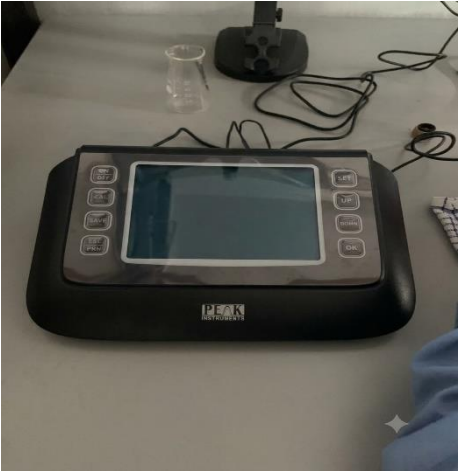
- Hasil Analisis Kadar TDS

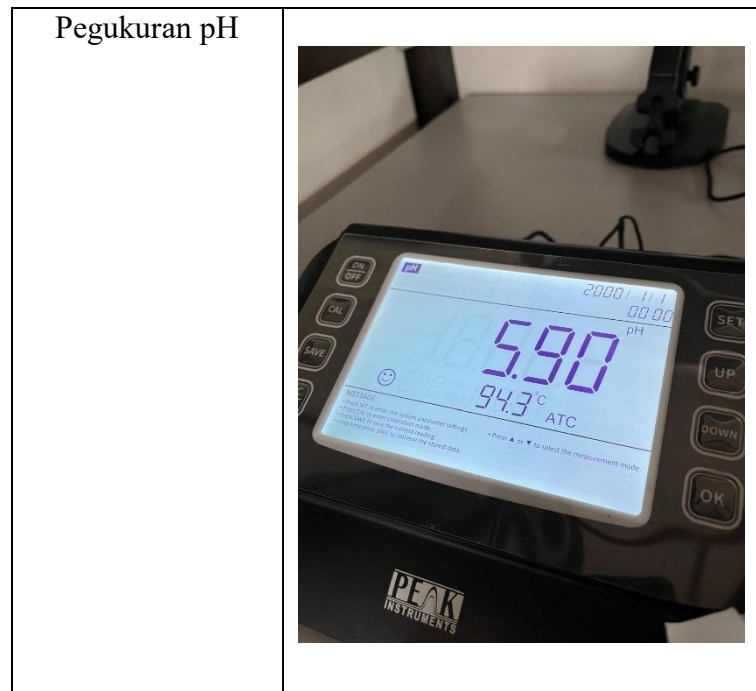
Tabel 0.3. Hasil Analisis Respon Kimia Kadar TDS

Formula	MgSo4 (ppm)	CaCl2 (ppm)	Analisi TDS
1	120	45	165
2	120	100	241
3	83	83	167
4	83	136	219
5	83	83	167
6	45	120	165
7	83	83	167
8	30	83	112
9	83	83	166
10	83	83	166
11	45	45	90
12	136	83	219
13	83	30	113

- Dokumentasi Kadar pH

Tabel 0.4. Dokumentasi Kadar pH

Persiapan air seduhan kopi	
Persiapan alat	



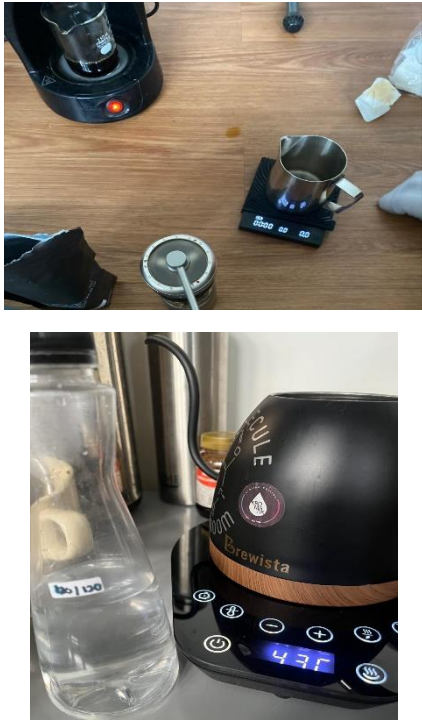
- Hasil Analisis Kadar pH

Tabel 0.5. Hasil Analisis Kadar pH

Formula	MgSo4 (ppm)	CaCl2 (ppm)	Analisi pH
1	120	45	5.35
2	120	100	5.81
3	83	83	5.91
4	83	136	5.86
5	83	83	5.93
6	45	120	5.59
7	83	83	5.89
8	30	83	5.45
9	83	83	5.74
10	83	83	5.74
11	45	45	5.5
12	136	83	5.52
13	83	30	5.58

- Dokumentasi Organoleptik

Tabel 0.6. Dokumentasi Organoleptik Uji deskriptif

Persiapan sampel	
Penyamaan Persepsi	

Pengisian form



Lampiran I. Form dan Hasil Organoleptik

Formulir Pengujian Organoleptik Metode Deskriptif

 Specialty Coffee Association of America Coffee Cupping Form																																																																																						
Name: _____												Quality scale: 6.00 - Good 7.00 - Very Good 8.00 - Excellent 9.00 - Outstanding 6.25 7.25 8.25 9.25 6.50 7.50 8.50 9.50 6.75 7.75 8.75 9.75																																																																										
Date: _____																																																																																						
Sample #	Roast Level or Sample	Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Total Score																																																																								
		Fragrance/Aroma		Flavor		Acidity		Body		Uniformity		Clean Cup																																																																										
		Dry Qualities Break		Aftertaste		Intensity		Level		Balance		Sweetness																																																																										
		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____																																																																										
Notes: _____												Final Score																																																																										
Sample # _____ Roast Level or Sample _____ <table border="1"> <tr> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td rowspan="4">Total Score</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Fragrance/Aroma</td> <td colspan="2">Flavor</td> <td colspan="2">Acidity</td> <td colspan="2">Body</td> <td colspan="2">Uniformity</td> <td colspan="2">Clean Cup</td> <td colspan="2">Overall</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Dry Qualities Break</td> <td colspan="2">Aftertaste</td> <td colspan="2">Intensity</td> <td colspan="2">Level</td> <td colspan="2">Balance</td> <td colspan="2">Sweetness</td> <td colspan="2">Defects (subtract)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> </tr> <tr> <td colspan="12">Notes: _____</td> <td colspan="3">Final Score</td> </tr> </table>															Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Total Score	Fragrance/Aroma		Flavor		Acidity		Body		Uniformity		Clean Cup		Overall		Dry Qualities Break		Aftertaste		Intensity		Level		Balance		Sweetness		Defects (subtract)		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Notes: _____												Final Score		
Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Total Score																																																																								
Fragrance/Aroma		Flavor		Acidity		Body		Uniformity		Clean Cup		Overall																																																																										
Dry Qualities Break		Aftertaste		Intensity		Level		Balance		Sweetness		Defects (subtract)																																																																										
Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____																																																																										
Notes: _____												Final Score																																																																										
Sample # _____ Roast Level or Sample _____ <table border="1"> <tr> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td rowspan="4">Total Score</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Fragrance/Aroma</td> <td colspan="2">Flavor</td> <td colspan="2">Acidity</td> <td colspan="2">Body</td> <td colspan="2">Uniformity</td> <td colspan="2">Clean Cup</td> <td colspan="2">Overall</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Dry Qualities Break</td> <td colspan="2">Aftertaste</td> <td colspan="2">Intensity</td> <td colspan="2">Level</td> <td colspan="2">Balance</td> <td colspan="2">Sweetness</td> <td colspan="2">Defects (subtract)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> </tr> <tr> <td colspan="12">Notes: _____</td> <td colspan="3">Final Score</td> </tr> </table>															Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Total Score	Fragrance/Aroma		Flavor		Acidity		Body		Uniformity		Clean Cup		Overall		Dry Qualities Break		Aftertaste		Intensity		Level		Balance		Sweetness		Defects (subtract)		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Notes: _____												Final Score		
Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Total Score																																																																								
Fragrance/Aroma		Flavor		Acidity		Body		Uniformity		Clean Cup		Overall																																																																										
Dry Qualities Break		Aftertaste		Intensity		Level		Balance		Sweetness		Defects (subtract)																																																																										
Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____																																																																										
Notes: _____												Final Score																																																																										
Sample # _____ Roast Level or Sample _____ <table border="1"> <tr> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td rowspan="4">Total Score</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Fragrance/Aroma</td> <td colspan="2">Flavor</td> <td colspan="2">Acidity</td> <td colspan="2">Body</td> <td colspan="2">Uniformity</td> <td colspan="2">Clean Cup</td> <td colspan="2">Overall</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Dry Qualities Break</td> <td colspan="2">Aftertaste</td> <td colspan="2">Intensity</td> <td colspan="2">Level</td> <td colspan="2">Balance</td> <td colspan="2">Sweetness</td> <td colspan="2">Defects (subtract)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> </tr> <tr> <td colspan="12">Notes: _____</td> <td colspan="3">Final Score</td> </tr> </table>															Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Total Score	Fragrance/Aroma		Flavor		Acidity		Body		Uniformity		Clean Cup		Overall		Dry Qualities Break		Aftertaste		Intensity		Level		Balance		Sweetness		Defects (subtract)		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Notes: _____												Final Score		
Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Total Score																																																																								
Fragrance/Aroma		Flavor		Acidity		Body		Uniformity		Clean Cup		Overall																																																																										
Dry Qualities Break		Aftertaste		Intensity		Level		Balance		Sweetness		Defects (subtract)																																																																										
Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____																																																																										
Notes: _____												Final Score																																																																										
Sample # _____ Roast Level or Sample _____ <table border="1"> <tr> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td rowspan="4">Total Score</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Fragrance/Aroma</td> <td colspan="2">Flavor</td> <td colspan="2">Acidity</td> <td colspan="2">Body</td> <td colspan="2">Uniformity</td> <td colspan="2">Clean Cup</td> <td colspan="2">Overall</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Dry Qualities Break</td> <td colspan="2">Aftertaste</td> <td colspan="2">Intensity</td> <td colspan="2">Level</td> <td colspan="2">Balance</td> <td colspan="2">Sweetness</td> <td colspan="2">Defects (subtract)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> <td colspan="2">Score: _____</td> </tr> <tr> <td colspan="12">Notes: _____</td> <td colspan="3">Final Score</td> </tr> </table>															Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Total Score	Fragrance/Aroma		Flavor		Acidity		Body		Uniformity		Clean Cup		Overall		Dry Qualities Break		Aftertaste		Intensity		Level		Balance		Sweetness		Defects (subtract)		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Notes: _____												Final Score		
Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Total Score																																																																								
Fragrance/Aroma		Flavor		Acidity		Body		Uniformity		Clean Cup		Overall																																																																										
Dry Qualities Break		Aftertaste		Intensity		Level		Balance		Sweetness		Defects (subtract)																																																																										
Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____		Score: _____																																																																										
Notes: _____												Final Score																																																																										

Gambar 0.8. Formulir Pengujian Organoleptik Metode Deskriptif

Hasil Organoleptik Uji Deskriptif
Tabel 0.7. Hasil Organoleptik Uji Deskriptif

Formula	Sampel	Panelis	Aroma	Flavor	Aftertaste	Acidity	sweetness	Body (mouthfeel)
Run 1	1245	Muhaimin	7.75	7.75	7.25	7.5	8	7
		Agung	7.75	7.75	7.5	7.5	9	7
		Yolan	7.75	7.75	7.25	7.75	8	7
	total		23.25	23.25	22	22.75	25	21
	Rata-Rata		7.75	7.75	7.33	7.58	8.33	7.00
Run 2	1212	Muhaimin	8.25	7.75	8	8	6	8.25
		Agung	8.25	7.75	7.5	8	7	7.75
		Yolan	8.25	8	8	8	7	8
	total		24.75	23.5	23.5	24	20	24
	Rata-Rata		8.25	7.83	7.83	8.00	6.67	8.00
Run 3	8383	Muhaimin	8.5	7.25	8.25	7.25	6	7.5
		Agung	8	7	8.25	8	6	7.75
		Yolan	8.25	7.5	8.25	7.5	6	8
	total		24.75	21.75	24.75	22.75	18	23.25
	Rata-Rata		8.25	7.25	8.25	7.58	6.00	7.75
Run 4	8313	Muhaimin	7.75	8	8	8	7	8.25
		Agung	8	7.5	8	7.75	7	8.25
		Yolan	8	8	8.25	8.25	6	8.25
	total		23.75	23.5	24.25	24	20	24.75
	Rata-Rata		7.92	7.83	8.08	8.00	6.67	8.25
Run 5	8385	Muhaimin	8.25	7.5	8.25	7.5	6	7.75
		Agung	8.75	7.5	8.25	7.5	6	7.5
		Yolan	8.5	7.5	8.25	7.5	6	8
	total		25.5	22.5	24.75	22.5	18	23.25
	Rata-Rata		8.50	7.50	8.25	7.50	6.00	7.75
Run 6	4512	Muhaimin	7.75	7.25	7.25	7.25	7	7.5
		Agung	7.75	7.5	7.5	7	7	7.75
		Yolan	7.25	7	7	7.5	8	7.75
	total		22.75	21.75	21.75	21.75	22	23
	Rata-Rata		7.58	7.25	7.25	7.25	7.33	7.67
Run 7	8387	Muhaimin	8.5	7.5	8	7.5	6	8
		Agung	8.5	7.5	8	7.5	6	8
		Yolan	8	7.5	8	7.5	6	8
	total		25	22.5	24	22.5	18	24
	Rata-Rata		8.33	7.50	8.00	7.50	6.00	8.00
Run 8	3083	Muhaimin	7.5	7.5	7.5	7.5	9	7.75
		Agung	7.5	7.5	7.5	7	8	7.75
		Yolan	7.5	7.25	7.75	7.5	6	7.75
	total		22.5	22.25	22.75	22	23	23.25
	Rata-Rata		7.50	7.42	7.58	7.33	7.67	7.75
Run 9	8389	Muhaimin	8.5	7.5	8	7.75	10	7.25
		Agung	8	7.25	8	7.5	8	7.25
		Yolan	8.5	7.75	8	8	7	8
	total		25	22.5	24	23.25	25	22.5
	Rata-Rata		8.33	7.50	8.00	7.75	8.33	7.50
Run 10	8381	Muhaimin	8.75	7.5	8	7.75	10	7.25
		Agung	8.75	7.25	8.25	7.5	8	8
		Yolan	8.75	7.75	8.5	8	7	7.25
	total		26.25	22.5	24.75	23.25	25	22.5
	Rata-Rata		8.75	7.50	8.25	7.75	8.33	7.50
Run 11	4545	Muhaimin	7.75	7.75	8	7.75	7	8.25
		Agung	8.25	7.75	8	7.5	7	7.75
		Yolan	8	7.75	8	7.5	7	7.75
	total		24	23.25	24	22.75	21	23.75
	Rata-Rata		8.00	7.75	8.00	7.58	7.00	7.92
Run 12	1383	Muhaimin	8	7.5	7.5	7.25	7	7.75
		Agung	7.75	7.5	7.75	7.5	7	7.75
		Yolan	8	7.75	7.5	7.5	7	7.25
	total		23.75	22.75	22.75	22.25	21	22.75
	Rata-Rata		7.92	7.58	7.58	7.42	7.00	7.58
Run 13	8330	Muhaimin	7.75	7.75	7.5	7.75	8	8
		Agung	7.75	7.75	8	8	8	7.75
		Yolan	7.75	7.75	8	8	8	7.75
	total		23.25	23.25	23.5	23.75	24	23.5
	Rata-Rata		7.75	7.75	7.83	7.92	8.00	7.83

Lampiran J. Sertifikat Kompetensi Panelis

1. Muhammad Muhaimin



Gambar 0.9. Sertifikat Kompetensi Muhammad Muhaimin

2. Sertifikat Kompetensi Rahmat Yolanda



Gambar 0.12. Sertifikat Kompetensi Rahmat Yolanda

3. Sertifikat Kompetensi Agung JM



Gambar 0.15. Sertifikat Kompetensi Agung JM

Gambar 0.16. Sertifikat Kompetensi Agung JM