

Strategi Optimalisasi Spray Dryer pada Pembuatan Kopi Instan dengan *Response Surface Methodology*

Khairol Mizan Us, Indra Mawardi*, Hanif, Muhammad Haekal

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe

*Koresponden email: indratm@pnl.ac.id

Diterima: 16 September 2025

Disetujui: 24 September 2025

Abstract

Instant coffee is one of the products produced from the drying process using a spray dryer. The quality of instant coffee is usually influenced by many variables, especially the drying temperature. This study aims to evaluate the effect of the upper and lower temperatures of the spray dryer on three product quality parameters, namely yield, moisture content, and solubility, using the Response Surface Methodology (RSM) approach. Determination of optimal operating conditions needs to be done through a multi-response approach to obtain the best balance between high yield, low moisture content, and maximum solubility. The research method used the Box-Behnken Design (BBD) with 15 experimental runs. The variables varied were the upper temperature (150-220 °C), the lower temperature (50-100 °C), and the concentration of maltodextrin (0-30%). The observed responses included yield, moisture content, and solubility. The modelling results showed that the combination of upper and lower temperatures had a significant effect on product quality. The optimum conditions were obtained at an upper temperature of 164.496°C, a lower temperature of 100°C, and a maltodextrin concentration of 30%, with a yield of 91.214%, a moisture content of 0.698%, a solubility of 89.665%, and a desirability value of 0.711.

Keywords: *instant coffee, spray dryer, response surface methodology, temperature, modelling*

Abstrak

Kopi instan merupakan salah satu produk yang dihasilkan dari proses pengeringan menggunakan spray dryer. Kualitas kopi instan biasanya dipengaruhi oleh banyak variabel, terutama, terutama temperatur pengeringan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh temperatur atas dan temperatur bawah dari *spray dryer* terhadap tiga parameter kualitas produk, yaitu *yield*, *moisture content*, dan *solubility*, dengan menggunakan pendekatan *Response Surface Methodology* (RSM). Penentuan kondisi operasi yang optimal perlu dilakukan melalui pendekatan multi-respon agar diperoleh keseimbangan terbaik antara *yield* tinggi, *moisture content* rendah, dan *solubility* maksimum. Metode penelitian menggunakan rancangan Box-Behnken Desain (BBD) dengan 15 run percobaan. Variabel yang divariasikan adalah temperatur atas (150-220 °C), temperatur bawah (50-100 °C), dan konsentrasi maltodekstrin (0-30%). Respon yang diamati meliputi *yield*, *moisture content*, dan *solubility*. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa kombinasi temperatur atas dan bawah berpengaruh signifikan terhadap kualitas produk. Kondisi optimum diperoleh pada temperatur atas 164,496°C, temperatur bawah 100°C, dan konsentrasi maltodekstrin 30%, dengan *yield* 91,214%, kadar air 0,698%, kelarutan 89,665%, serta nilai desirabilitas 0,711.

Kata kunci: *kopi instan, spray dryer, response surface methodology, temperatur, pemodelan*

1. Pendahuluan

Kopi instan telah menjadi komoditas utama dalam industri minuman di berbagai negara, termasuk Indonesia, seiring meningkatnya permintaan akan produk siap konsumsi yang praktis dan memiliki kualitas sensori yang baik. Salah satu teknologi yang paling banyak digunakan dalam proses produksi kopi instan adalah spray drying, metode yang mampu mengubah ekstrak kopi cair menjadi bubuk secara efisien melalui atomisasi dan pengeringan dalam waktu singkat. Teknologi *spray dryer* memungkinkan pemrosesan dengan kendali lebih presisi terhadap parameter proses, seperti temperatur inlet dan outlet, serta laju aliran udara. Efektivitas proses ini sangat bergantung pada pengaturan variabel operasional, karena ketidaktepatan dalam optimasi dapat menyebabkan rendahnya *yield*, tingginya *moisture content*, dan masalah kelarutan produk akhir [1], [2], [3].

Spray dryer merupakan teknik termal yang digunakan untuk mengubah bahan cair menjadi bentuk bubuk. Dua faktor utama yang memengaruhi keberhasilan proses ini adalah suhu inlet (suhu masuk) dan jenis bahan pembawa yang digunakan. Pemilihan temperatur proses harus disesuaikan dengan karakteristik serta kandungan senyawa dari sampel yang akan dikeringkan. Karena itu, setiap jenis sampel membutuhkan

pengaturan suhu dan pembawa yang berbeda untuk menghasilkan produk dengan kualitas terbaik [4], [5], [6]. Oleh karena itu, penting untuk mengidentifikasi dan mengoptimalkan parameter-parameter ini sebelum masuk ke tahap produksi skala penuh menggunakan metode *spray dryer*, serta tetap mempertahankan kandungan senyawa fenolik dan aktivitas antioksidan.

Dalam industri kopi instan, salah satu tantangan utama yakni menjaga kualitas dan konsistensi produk di tengah variasi parameter *spray dryer*. *Yield* rendah, kandungan air yang berlebih, serta kelarutan yang tidak optimal sering menjadi permasalahan sehingga menurunkan daya saing produk. Selain itu, pada proses pengeringan ekstrak kopi, penggunaan filler seperti maltodekstrin menjadi solusi umum, karena meningkatkan stabilitas, mencegah lengket selama pengeringan, serta memperbaiki karakteristik fisik dan fungsional produk akhir. Konsentrasi maltodekstrin yang digunakan harus dioptimalkan agar tidak mengurangi citarasa kopi, sekaligus memperbaiki *yield* dan *moisture content* [7], [8], [9].

Berbagai penelitian terbaru menunjukkan bahwa maltodekstrin berperan signifikan sebagai agen pengisi, dengan konsentrasi optimum yang bervariasi antara 6% hingga 25% mampu menurunkan kandungan air hingga di bawah 4% dan meningkatkan *yield* hingga 35–50% tergantung pada variabel suhu dan metode pengeringan yang digunakan. Studi terbaru di tahun 2024 juga menegaskan bahwa pemilihan suhu pengeringan (antara 120–170°C) dan konsentrasi maltodekstrin menjadi parameter kritis dalam memperoleh kopi instan berkualitas tinggi dengan kelarutan dan aroma yang optimal. Kombinasi suhu dan filler yang tepat dapat memperbaiki efisiensi proses serta karakteristik produk seperti *moisture content*, *yield*, maupun *solubility* [10], [11], [12].

Untuk mendapatkan kondisi proses teroptimal, pendekatan Response Surface Methodology (RSM) semakin banyak digunakan dalam penelitian pangan modern. RSM memungkinkan identifikasi interaksi dan efek simultan beberapa variabel penting, seperti temperatur inlet dan outlet serta konsentrasi maltodekstrin, terhadap parameter mutu produk akhir, termasuk *yield*, kadar air (*moisture content*), dan kelarutan (*solubility*). Selain itu, RSM memberikan kemudahan dalam analisis statistik multivariabel dan prediksi kondisi optimum berdasarkan data eksperimental [1], [8], [13].

Permasalahan mendasar yang diangkat dalam penelitian ini adalah (1) masih kurang optimalnya *yield* dan kelarutan kopi instan pada beberapa proses *spray dryer* konvensional, (2) tingginya kandungan air yang dapat mempengaruhi stabilitas dan masa simpan produk akhir, serta (3) belum adanya studi komprehensif mengenai interaksi variabel suhu dan konsentrasi maltodekstrin dalam setting *spray dryer* berbasis RSM di lingkungan industri kopi lokal. Melalui analisis statistik dan formulasi eksperimental berbasis RSM, diharapkan pencapaian kondisi operasional terbaik yang memberikan mutu produk kopi instan dengan *yield* tinggi, *moisture content* rendah, dan kelarutan maksimal.

Adapun tujuan penelitian ini secara spesifik adalah mengoptimalkan kondisi operasi *spray dryer* pada proses produksi kopi instan, yaitu temperatur atas dan bawah serta penambahan konsentrasi maltodekstrin sebagai filler, dengan analisis pada variabel respons utama meliputi *yield*, *moisture content*, dan *solubility*. Optimasi dilakukan menggunakan metode RSM pada setting eksperimental yang sistematis. Hasil analisis parameter *yield*, *moisture content*, dan *solubility* akan memungkinkan identifikasi kondisi optimum dalam proses pengeringan, sehingga dapat direkomendasikan secara langsung untuk pengembangan produksi kopi instan yang efisien dan berkualitas tinggi.

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan adalah biji kopi Arabika Gayo hasil sangrai (**Gambar 1**) yang diolah menjadi ekstrak kopi dan maltodekstrin sebagai filler (**Gambar 2**). Alat utama yang digunakan adalah mesin *spray dryer*, dengan pengaturan variabel temperatur atas (*inlet temperature*) dan temperatur bawah (*outlet temperature*), diperlihatkan pada **Gambar 3**.



Gambar 1. Biji kopi Arabika Gayo



Gambar 2. Maltodextrine



Gambar 3. Peralatan Spray Dryer

2.2 Desain Eksperimen

Desain eksperimen menggunakan *Box-Behnken design* (BBD) yang merupakan bagian dari metode *Response Surface Methodology* (RSM). BBD dipilih karena mampu memodelkan hubungan linier, kuadrat, dan interaksi antara dua atau lebih variabel independen terhadap satu atau lebih variabel respon. Tujuan utama dari desain ini adalah untuk menentukan kombinasi kondisi proses yang menghasilkan hasil optimal pada produk kopi instan.

Dalam melakukan pemodelan menggunakan dua variabel bebas yang diatur pada beberapa level berdasarkan studi pendahuluan, yaitu: Temperatur produksi, merupakan suhu udara panas yang digunakan dalam proses pengeringan menggunakan *spray dryer*. Rentang temperatur ditetapkan berdasarkan karakteristik alat dan proses produksi, yaitu antara 150–220°C [14] untuk temperatur atas dan 50–100°C untuk temperatur bawah. Selanjutnya variabel konsentrasi Filler (Maltodextrin), Maltodextrin digunakan sebagai bahan pengisi (filler) untuk memperbaiki karakteristik fisik dan kestabilan kopi instan selama pengeringan. Konsentrasi yang digunakan berada dalam rentang 0–30% [14] dari total larutan.

Selanjutnya, pemodelan menggunakan tiga variabel respon, yaitu:

1. *Yield Product* (%) adalah persentase perbandingan antara jumlah kopi instan kering yang dihasilkan dengan jumlah bahan baku kopi yang digunakan dalam proses ekstraksi, dinyatakan dalam persen (%).
2. *Moisture content* atau kadar air adalah persentase jumlah air yang terkandung dalam kopi instan kering, dinyatakan dalam persen (% berat terhadap berat basah).
3. *Solubility* atau kelarutan adalah kemampuan bubuk kopi instan untuk larut sempurna dalam air pada suhu tertentu, biasanya diuji dalam air panas 90–95°C.

Analisa multi-regresi menggunakan kuadrat kecil untuk 18 nilai eksperimen kesesuaian model diuji dan signifikan menggunakan uji F. Persamaan model multi-regresi seperti pada persamaan di bawah dan pemrosesan statistik serta pembuatan grafik dilakukan oleh *Design Expert 13* [15].

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{123}X_1X_2X_3 + b_{11}X_{12} + b_{22}X_{22} + b_{33}X_{32}$$

Pada persamaan di atas, b_n adalah konstanta regresi, dan X_1 , X_2 , dan X_3 adalah variabel independen bertanda. Selanjutnya, pendekatan fungsi desirabilitas digunakan untuk menentukan hubungan antara dua variabel dependen, yaitu tingkat ekstraksi dan preferensi keseluruhan.

Area kompromi telah ditemukan. Dengan menggunakan metode derivatif, permasalahan optimasi favorabilitas, di mana variabel dependen berupa respons ganda dengan dua atau lebih respons sebagai satu skala, dapat disederhanakan. Setiap variabel dependen yang diprediksi oleh persamaan model regresi dikonversi menjadi favorabilitas individual, yang merupakan nilai tanpa dimensi, dan titik optimal variabel independen yang menunjukkan favorabilitas keseluruhan tertinggi dipilih oleh persamaan (2). Analisis favorabilitas ini dilakukan melalui optimasi numerik Design Expert 13, dan *yield* ekstraksi ditetapkan pada nilai minimum 40% sebagai kendala [15]. Pada persamaan (2), D , d , dan n masing-masing adalah kesukaan secara keseluruhan, kesukaan individu, dan jumlah variabel dependen.

$$D = (d_1 \times d_2 \times \dots \times d_n)^{\frac{1}{n}} = \left(\prod_{i=1}^n d_i \right)^{\frac{1}{n}}$$

Data yang terkumpul akan dianalisis menggunakan perangkat lunak statistik Design-Expert 13. Data akan dimasukkan ke dalam RSM untuk mengembangkan model matematis yang menggambarkan hubungan antara temperatur dan filler variabel independen dan respons *yeild*, *moisture*, dan *solubility*.

3. Hasil dan Pembahasan

Pemodelan menggunakan Design Expert dengan desain BBD memasukan faktor numerik yang akan ditetapkan menjadi 3 level. Pada penelitian menggunakan level faktor kategori seperti yang terdapat pada **Tabel 1**, dimana terdapat variabel independen (faktor) yaitu temperatur atas, temperatur bawah, dan maltodextrin yang berfungsi sebagai filler.

Tabel 1. Faktor numerik

Faktor	Satuan	Tingkat faktor		
		-1	-0	+1
Temperatur atas	°C	150	185	220
Temperatur bawah	°C	50	75	100
Maltodextrin	%	0	15	30

Eksperimen dilakukan sebanyak 15 kali *run* berdasarkan rancangan *Box-Behnken Design* (BBD) yang menghasilkan variasi kombinasi temperatur atas, temperatur bawah, dan konsentrasi maltodekstrin. **Tabel 2** memperlihatkan data hasil percobaan yang meliputi nilai *product yield*, *moisture content*, dan *solubility* dari produk kopi instan yang dihasilkan.

Tabel 2. Data hasil 15 *run* berdasarkan rancangan BBD

Run	Temperatur Atas (°C)	Temperatur Bawah (°C)	Maltodekstrin (%)	Moisture content (%)	Yield (%)	Solubility (%)
1	220	75	30	1,09	60	92,1
2	150	50	15	0,95	67	95,0
3	220	100	15	0,37	61	91,3
4	185	100	30	0,39	87	89,7
5	150	75	30	0,90	93	86,5
6	220	50	15	0,97	95	85,2
7	185	50	30	1,85	85	88,3
8	185	100	0	0,91	82	85,0
9	220	75	0	2,50	80	86,0
10	185	50	0	2,06	82	93,4
11	185	75	15	2,78	82	88,1
12	150	100	15	1,77	81	91,5
13	185	75	15	2,61	80	92,0
14	185	75	15	2,19	86	91,8
15	150	75	0	1,50	87	90,3

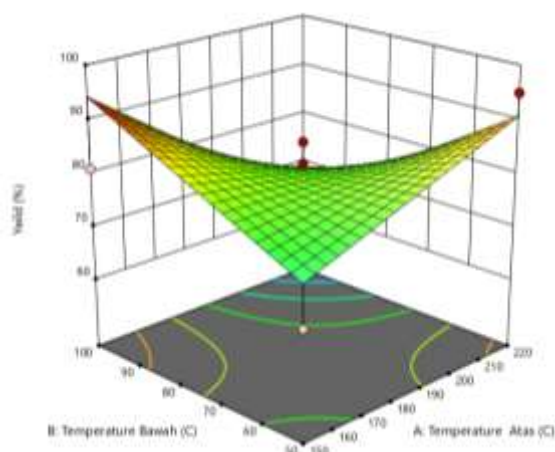
3.1 Plot Permukaan Respons

Permukaan respon digunakan untuk memperjelas hubungan antara variabel proses terhadap karakteristik produk kopi instan yang dihasilkan. Grafik permukaan (surface plot) menggambarkan efek interaksi antara dua variabel proses terhadap satu respon, dengan variabel ketiga tetap konstan. Gambar 4-6 memperlihatkan permukaan respon untuk masing-masing parameter kualitas.

3.1.1 Respon *yield*

Hasil pemodelan tiga dimensi pada **Gambar 4** menunjukkan pengaruh temperatur atas dan temperatur bawah terhadap *yield* (%). Permukaan respon yang terbentuk memperlihatkan pola kuadratik dengan kecenderungan cekung ke bawah, yang mengindikasikan adanya titik minimum pada kombinasi temperatur menengah. Pada kondisi temperatur atas dan bawah yang berada pada rentang moderat, *yield* cenderung mengalami penurunan signifikan. Sebaliknya, ketika kedua variabel berada pada nilai ekstrem, baik pada kisaran rendah maupun tinggi, *yield* meningkat secara konsisten. Secara spesifik, *yield* optimal dicapai pada kombinasi temperatur atas sekitar 210–220 °C dan temperatur bawah 90–100 °C. Kondisi ini mengindikasikan bahwa interaksi sinergis antara temperatur atas yang tinggi dengan temperatur bawah yang tinggi berperan penting dalam meningkatkan efisiensi proses [16]. Di sisi lain, kombinasi temperatur rendah-rendah masih mampu menghasilkan *yield* relatif tinggi, meskipun tidak seoptimal kondisi tinggi-tinggi.

Temuan ini menunjukkan bahwa variabel temperatur memiliki kontribusi signifikan dalam mengendalikan hasil proses, dengan pola hubungan non-linear. Oleh karena itu, pengaturan temperatur yang tepat, khususnya pada kondisi tinggi-tinggi, direkomendasikan sebagai strategi untuk memperoleh *yield* maksimum.

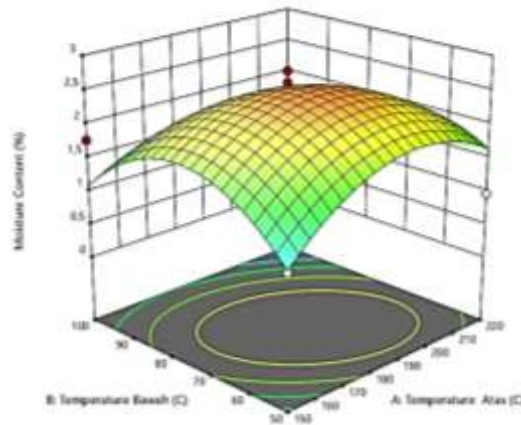


Gambar 4. Respon permukaan *yield* temperatur atas dan temperatur bawah

3.1.2 Respon *Moisture content*

Gambar 5 menunjukkan pengaruh temperatur atas dan temperatur bawah terhadap *moisture content* (%). Permukaan respon yang terbentuk memperlihatkan pola kuadratik dengan karakteristik cembung ke atas, menandakan adanya titik minimum pada kombinasi temperatur menengah. Pada kondisi tersebut, *moisture content* mencapai nilai terendah, sedangkan pada temperatur ekstrem (baik rendah-rendah maupun tinggi-tinggi), *moisture content* meningkat kembali.

Secara spesifik, kadar air minimum diperoleh pada kombinasi temperatur atas sekitar 180–190 °C dan temperatur bawah 70–80 °C. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi temperatur moderat mampu memberikan keseimbangan antara proses penguapan dan retensi air dalam material. Sementara itu, pada temperatur tinggi, meskipun laju penguapan meningkat, kemungkinan terjadi fenomena reabsorpsi uap atau perubahan struktur material yang menyebabkan air terperangkap kembali sehingga kadar air naik. Sebaliknya, pada temperatur rendah, proses penguapan berlangsung lambat sehingga *moisture content* juga tetap tinggi. Pola respon ini sejalan dengan temuan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa perubahan temperatur memberikan efek non-linear terhadap kandungan air produk [17]. Oleh karena itu, pengendalian temperatur pada kondisi menengah menjadi strategi penting untuk memperoleh kadar air rendah secara optimal.



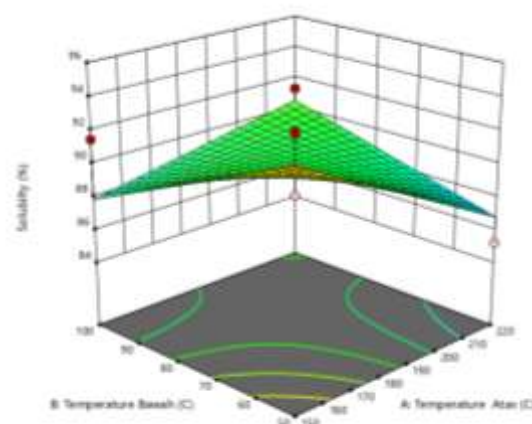
Gambar 5. Respon permukaan *moisture content* temperatur atas dan temperatur bawah

3.1.3 Respon *Solubility*

Gambar 6 menampilkan pengaruh temperatur atas dan temperatur bawah terhadap kelarutan (*solubility*, %). Permukaan respon memperlihatkan bentuk kuadratik dengan karakteristik cembung, yang menunjukkan adanya titik maksimum pada kombinasi temperatur menengah. Pada kondisi tersebut, kelarutan mencapai nilai tertinggi, sedangkan pada nilai ekstrem (rendah-rendah maupun tinggi-tinggi), *solubility* cenderung menurun.

Kondisi optimum terjadi pada temperatur atas sekitar 170–180 °C dan temperatur bawah 70–80 °C, di mana kelarutan mencapai lebih dari 93%. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada temperatur menengah, terjadi interaksi optimal antara proses denaturasi, pelepasan komponen larut, dan kestabilan struktur material, sehingga fraksi terlarut meningkat secara signifikan. Sebaliknya, pada temperatur rendah, kelarutan terbatas akibat proses pelepasan senyawa larut yang tidak maksimal. Pada temperatur tinggi, kemungkinan terjadi degradasi atau perubahan struktur yang mengurangi ketersediaan komponen larut, sehingga *solubility* menurun kembali.

Hasil ini sejalan dengan laporan penelitian lain yang menegaskan bahwa kelarutan dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara faktor termal dan struktur material, yang seringkali menghasilkan pola non-linear [Ref]. Dengan demikian, pengaturan temperatur pada kisaran menengah menjadi strategi penting untuk memaksimalkan kelarutan tanpa menimbulkan degradasi komponen aktif.



Gambar 6. Respon permukaan *solubility* temperatur atas dan temperatur bawah

Dari hasil pemodelan respon permukaan tiga dimensi memperlihatkan bahwa temperatur atas dan temperatur bawah memberikan pengaruh signifikan terhadap tiga parameter utama, yaitu *yield*, *moisture content*, dan *solubility*, dengan pola respon kuadratik yang berbeda pada setiap variabel. Pada respon *yield*, permukaan model menunjukkan pola cekung ke bawah dengan titik minimum pada rentang temperatur menengah. *Yield* meningkat pada kondisi ekstrem, khususnya pada kombinasi temperatur atas tinggi (210–220 °C) dan temperatur bawah tinggi (90–100 °C), yang menghasilkan nilai optimum. Hal ini menunjukkan bahwa energi termal yang tinggi mendorong konversi lebih sempurna sehingga meningkatkan hasil proses.

Berbeda dengan *yield*, respon *moisture content* menunjukkan pola cembung ke atas, dengan titik minimum pada temperatur menengah (sekitar 180–190 °C untuk atas dan 70–80 °C untuk bawah). Hal ini mengindikasikan bahwa pada kondisi moderat, proses penguapan air berlangsung optimal sehingga kadar air berkurang. Pada temperatur rendah, penguapan tidak maksimal, sedangkan pada temperatur tinggi kemungkinan terjadi reabsorpsi uap atau perubahan struktur yang menyebabkan peningkatan kadar air kembali. Sementara itu, respon *solubility* juga menunjukkan pola cembung dengan titik maksimum pada rentang temperatur menengah (170–180 °C untuk atas dan 70–80 °C untuk bawah). Kondisi ini merepresentasikan bahwa pada temperatur moderat, pelepasan komponen larut berlangsung optimal tanpa menyebabkan degradasi struktur, sehingga kelarutan meningkat. Namun, pada temperatur ekstrem, baik rendah maupun tinggi, *solubility* mengalami penurunan akibat keterbatasan pelepasan senyawa larut atau degradasi termal.

Secara keseluruhan, ketiga respon tersebut menunjukkan adanya trade-off antar parameter. *Yield* optimum dicapai pada temperatur tinggi, sementara *moisture content* minimum dan *solubility* maksimum diperoleh pada temperatur menengah. Temuan ini menegaskan bahwa penentuan kondisi operasi optimal harus mempertimbangkan keseimbangan antar respon, bukan hanya salah satu parameter. Dengan demikian, pemilihan temperatur operasi perlu disesuaikan dengan tujuan akhir proses, apakah lebih menekankan pada peningkatan *yield*, penurunan kadar air, atau peningkatan kelarutan.

Dari hasil pemodelan dapat dirangkum kondisi puncak dari setiap respon variable seperti diperlihatkan pada **Tabel 3**. Selanjutnya, **Tabel 4** memperlihatkan kondisi optimum untuk pembuatan kopi instan dengan menggunakan *spray dryer*, dengan nilai desirability paling tinggi.

Tabel 3. Kondisi puncak untuk setiap respon

Respon	Temperatur atas	Temperatur bawah	Maltodextrin	Yeild	Moisture	Solubilty
Yeild	150,7	100	30	100,093	0,521	88,2
<i>Moisture content</i>	150,685	100	30	100,093	0,521	88,2
<i>Solubility</i>	150,018	50	6,695	71,882	0,904	96,337

Tabel 4. Kondisi optimum untuk pembuatan kopi instan

Temperatur atas	Temperatur bawah	Maltodextrin	Yeild	Moisture	Solubilty	Desirability
164,5	100,000	30,000	91,214	0,698	89,665	0,711

4. Kesimpulan

Pemodelan respon permukaan menunjukkan bahwa temperatur atas dan temperatur bawah berpengaruh nyata terhadap *yield*, *moisture content*, dan *solubility* dengan pola hubungan kuadratik. Kondisi optimum untuk pembuatan kopi instan menggunakan peralatan *spray dryer* dengan desirability tertinggi (0,711) pada kondisi temperatur atas sebesar 164,5 °C, temperatur bawah 100 °C, jumlah filler maltodextrin sebesar 30% yang menghasilkan *yield* 91,214, moisture 0,698 dan *solubility* sebesar 89,665. Dengan demikian, pemilihan kondisi operasi harus mempertimbangkan trade-off antar respon. Apabila tujuan utama adalah memaksimalkan *yield*, maka temperatur tinggi menjadi pilihan yang lebih tepat. Namun, untuk memperoleh kadar air rendah dan kelarutan tinggi, kondisi temperatur menengah lebih disarankan. Secara umum, hasil penelitian ini menegaskan bahwa kombinasi temperatur optimal dapat ditentukan melalui pendekatan multi-respon, sehingga dapat menghasilkan produk dengan kualitas terbaik sesuai tujuan aplikasi.

5. Daftar Pustaka

- [1] T. Qadri *et al.*, “Impact of spray drying conditions on the reconstitution, efficiency and flow properties of spray dried apple powder-optimization, sensorial and rheological assessment,” *Heliyon*, vol. 9, no. 8, 2023.
- [2] A. C. Kumoro, D. H. Wardhani, T. D. Kusworo, M. Djaeni, T. C. Ping, and M. Alhanif, “A brief overview of spray drying technology and its potential in food applications,” *J. Human, Earth, Futur.*, vol. 5, no. 2, pp. 279–305, 2024.
- [3] T. Hariyadi, “The Effect of Maltodextrin Concentration and Drying Temperature on the Instant Coffee Production with Spray Drying Method,” *Int. J. Appl. Technol. Res.*, vol. 5, no. 3, pp. 194–204, 2024.

- [4] C. Anandharamakrishnan, "Spray-freeze-drying of coffee," in *Caffeinated and Cocoa Based Beverages*, Elsevier, 2019, pp. 337–366.
- [5] R. A. Hafizal, A. S. M. Kassim, and N. F. Razali, "Effect of Carrier Types and Spray Drying Temperature on The Physicochemical Properties of Turmeric Coffee," *Prog. Eng. Appl. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 80–95, 2022.
- [6] W. Wirunthanakrit and V. Vittayaporn, "Development of instant coffee for value adding of coffee products from Ban Borsilam, Ngao District, Lampang Province," *J. Food Heal. Bioenvironmental Sci.*, vol. 11, no. 3, pp. 32–40, 2018.
- [7] E. A. Kosasih *et al.*, "Microencapsulation of maltodextrin and gelatin using spray drying with double-condenser compression refrigeration systems," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 45, p. 102931, 2023.
- [8] Y. Kuang *et al.*, "Optimization of Coffee Peel Cellulose Extraction Conditions Using Response Surface Methodology," *J. Nat. Fibers*, vol. 22, no. 1, p. 2502648, 2025.
- [9] A. Inayah, F. M. Ma'rifat, M. Hudaya, and R. A. Putri, "Product Upgrading Analysis of Instant Coffee Industry: A Case Study of Kapal Api Group," *J. World Trade Stud.*, vol. 6, no. 2, pp. 21–37.
- [10] N. V. Maramy, T. D. Widyaningsih, E. Martati, A. T. Endharti, and S. Salsabila, "Physicochemical, functional, and sensory characteristics of spray-dried instant Minasarua: a functional beverage," *CyTA-Journal Food*, vol. 23, no. 1, p. 2521049, 2025.
- [11] N. T. A. Othman and E. Muhammad, "Drying of instant coffee in a spray dryer," *J. Kejuruter.*, vol. 31, no. 2, pp. 295–301, 2019.
- [12] M. W. Ni'mah, U. H. A. Hasbullah, and E. I. Retnowati, "Production of Robusta instant coffee powder with variation of fillers," *Agrointek J. Teknol. Ind. Pertan.*, vol. 15, no. 3, pp. 923–933, 2021.
- [13] P. Pohl, M. Welna, A. Szymczycha-Madeja, K. Greda, P. Jamroz, and A. Dzimitrowicz, "Response surface methodology assisted development of a simplified sample preparation procedure for the multielement (Ba, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Sr and Zn) analysis of different coffee brews by means of inductively coupled plasma optical emission spectrometry," *Talanta*, vol. 241, p. 123215, 2022.
- [14] S. A. Norhelmi, A. S. M. Kassim, and N. F. Razali, "Effect of carrier types and spray drying temperature on the physicochemical properties of turmeric tea," *Prog. Eng. Appl. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 96–106, 2022.
- [15] Njoku, Chigoziri N., and Samuel K. Otisi. "Application of central composite design with design expert v13 in process optimization." *Response surface methodology-research advances and applications*. IntechOpen, 2023.
- [16] J. Villegas Santiago, F. Gómez Navarro, A. Domínguez Niño, M. A. García Alvarado, M. A. Salgado Cervantes, and G. Luna Solano, "Effect of spray-drying conditions on *moisture content* and particle size of coffee extract in a prototype dryer," 2020.
- [17] J. N. W. Karyadi, D. Ayuni, T. A. Rohani, and D. Y. Susanti, "Effect of drying temperature of small scale *spray dryer* on physical properties of coffee powder," *Pertanika J. Sci. Technol.*, vol. 28, no. 4, pp. 1315–1327, 2020.