



Studi Optimasi Pengaruh Tekanan dan Waktu Pengeringan terhadap Kadar Air Ikan pada Proses *Freeze Drying*

Dzaky Mirza Pradana^{1*}, Widjanarko²

¹⁻²Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Alamat: Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur

Korespondensi penulis: dzakympradana@gmail.com

Abstract. *This study aims to evaluate and optimize the effects of vacuum pressure and drying time on moisture content in the freeze drying process. Freeze drying was selected due to its ability to preserve the quality of food products by removing moisture through sublimation under low vacuum conditions. The vacuum pressure variables applied in this study were -62.8 cmHg, -64 cmHg, -67 cmHg, -70 cmHg, and -71.2 cmHg, while the drying times were varied at 8.2 hours, 9 hours, 11 hours, 13 hours, and 13.8 hours. Response Surface Methodology (RSM) with a Central Composite Design (CCD) was employed to analyze the individual effects and interactions of the two factors on final product moisture content. The results showed that both vacuum pressure and drying time significantly influenced moisture reduction, while their interaction effect was statistically insignificant. The optimum conditions were achieved at a vacuum pressure of -70.5 cmHg and a drying time of 12.6 hours, meeting the moisture content requirements based on SNI 8273:2023 standards. These findings are expected to serve as a practical reference for determining optimal operating parameters in freeze drying processes to improve efficiency and product quality.*

Keywords: *Freeze drying, vacuum pressure, drying time, moisture content*

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan mengoptimalkan pengaruh tekanan vakum dan waktu pengeringan terhadap kandungan air dalam proses pengeringan beku. Pengeringan beku dipilih karena kemampuannya dalam menjaga kualitas produk makanan dengan menghilangkan air melalui sublimasi dalam kondisi vakum rendah. Variabel tekanan vakum yang digunakan dalam penelitian ini adalah -62,8 cmHg, -64 cmHg, -67 cmHg, -70 cmHg, dan -71,2 cmHg, sedangkan waktu pengeringan bervariasi pada 8,2 jam, 9 jam, 11 jam, 13 jam, dan 13,8 jam. *Response Surface Methodology* (RSM) dengan *Central Composite Design* (CCD) digunakan untuk menganalisis efek individu dan interaksi kedua faktor terhadap kandungan kadar air produk akhir. Hasil menunjukkan bahwa baik tekanan vakum maupun waktu pengeringan secara signifikan mempengaruhi pengurangan kadar air, sementara efek interaksinya secara statistik tidak signifikan. Kondisi optimum tercapai pada tekanan vakum -70,5 cmHg dan waktu pengeringan 12,6 jam, memenuhi persyaratan kandungan air berdasarkan standar SNI 8273:2023. Temuan ini diharapkan dapat menjadi acuan praktis untuk menentukan parameter operasi optimum dalam proses pengeringan beku guna meningkatkan efisiensi dan kualitas produk.

Kata kunci: *Freeze drying, tekanan vakum, waktu pengeringan, kadar air*

1. LATAR BELAKANG

Pengeringan beku merupakan salah satu teknologi pengeringan yang diterapkan pada bahan pangan dengan kandungan nutrisi yang sensitif terhadap suhu tinggi atau untuk bahan berkualitas tinggi (*high quality product*), seperti vaksin, bakteri, protein, atau sel mamalia. [1]. Produk hasil pengeringan beku mempunyai sifat yang tidak banyak berbeda dengan sifat bahan aslinya (segar), baik dari segi aroma, warna, rasa, dan juga bentuknya.[2]. Metode pengeringan beku adalah metode pengeringan bahan pangan yang memberikan hasil terbaik. Kualitas bahan pangan dapat dijaga karena pengeringan dilakukan pada suhu beku dan tekanan rendah.[3] Ikan lele (*Clarias sp.*) merupakan salah satu komoditas perikanan air tawar yang unggul di pasaran

selain mujair, patin, nila dan gurami.[4]. Ikan lele termasuk air tawar yang berasal dari kelas *actinopterygii* yang banyak mengandung mineral di antaranya kalsium, zat besi, magnesium, zink, fosfor dan lain - lain. Daging lele terdapat protein, asam lemak, Omega-3 dan Omega-6. Vitamin yang terkandung dalam daging lele antara lain : vitamin A, kandungan *tiamin* (Vitamin B1), serta *riboflavin* (Vitamin B2).[5]. Ikan lele mengandung gizi yang cukup tinggi yaitu protein 18,79%, air 75,10%, lemak 4,03% dan mineral 2,08%.[6]

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan menentukan parameter terbaik dalam proses *freeze drying*, khususnya dengan mengkaji pengaruh variasi tekanan vakum dan waktu pengeringan terhadap kadar air bahan. Selain itu, interaksi antara kedua variabel tersebut turut dianalisis untuk mengetahui apakah kombinasi tertentu dapat menghasilkan hasil pengeringan yang lebih optimal. Pengujian dilakukan melalui metode eksperimental menggunakan alat *freeze drying* dengan pengaturan variabel tekanan dan waktu tertentu. Mesin *freeze drying* yang digunakan dalam penelitian ini memiliki spesifikasi berupa diameter chamber sebesar 250 mm, tebal chamber 3 mm, suhu maksimal pemanas 80°C, suhu pendinginan mencapai -10°C, tebal tutup 20 mm, dan mampu menghasilkan tekanan vakum hingga -74 cmHg. Data hasil percobaan dianalisis secara statistik menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) untuk mengidentifikasi parameter yang paling berpengaruh terhadap kadar air akhir produk. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan teknis dalam menentukan parameter operasi optimal agar proses *freeze drying* berjalan lebih efisien, hemat energi, dan mampu menghasilkan produk dengan kualitas kadar air sesuai standar penyimpanan.

2. KAJIAN TEORITIS

Beberapa penelitian terkait performansi alat *freeze drying* telah dilakukan sebelumnya dengan berbagai variabel dan bahan uji. Penelitian yang berjudul “Uji Performansi Alat *Freeze Drying* Pengaruh Tekanan Vakum dan Temperatur Pendinginan Terhadap Kadar Air Cabai” menguji variabel tekanan vakum (-61 cmHg, -64 cmHg, -67 cmHg, dan -70 cmHg) serta temperatur pendinginan (-5°C, -10°C, -15°C, dan -20°C), dan menemukan kombinasi optimal pada -70 cmHg dan -10°C dengan kadar air cabai yang terbangun mencapai 16 gram dari 20 gram[7]. Penelitian serupa yang berjudul “Evaluasi Waktu Pengeringan pada Metode *Freeze Drying* terhadap Karakteristik Kacang Tanah, Bawang Putih dan Tomat Menggunakan Alat *Labconco FreeZone 2.5 L*” mengevaluasi waktu pengeringan *freeze drying* pada kacang tanah, bawang putih, dan tomat menggunakan alat *Labconco FreeZone 2.5 L*, dan hasilnya menunjukkan bahwa durasi pengeringan bervariasi tergantung jenis bahan, yakni 24 jam untuk kacang tanah, 36 jam untuk bawang putih, dan 48 jam untuk tomat demi mencapai kadar air

optimal.[8]. Sementara itu, penelitian yang berjudul “Kaji Eksperimental Performa Mesin *Freeze Drying* Dengan Beban Ikan Bandeng” meneliti performa mesin *freeze drying* berbasis *ejector* sebagai alternatif pompa vakum konvensional dan meskipun sistemnya lebih sederhana, mudah dirawat, dan lebih murah, alat ini belum mampu mencapai vakum ideal (0,006 bar). Pada kondisi vakum 0,58 bar selama 7 jam, kadar air ikan bandeng hanya berkurang 0,031%-0,032% dengan SMER 0,0127 kg/kWh, dan efisiensi pengeringan meningkat saat suhu bahan dinaikkan hingga 85°C-100°C.[9]. Selain itu, penelitian yang berjudul “Perubahan Karakteristik Bahan Pangan pada Keripik Buah dengan Metode *Freeze Drying*” mengkaji tentang perubahan karakteristik pangan pada keripik buah dengan metode *freeze drying* unggul dalam mempertahankan kualitas bahan, baik dari segi sensorik, nilai gizi, maupun struktur fisik dibandingkan metode konvensional, meskipun efisiensinya dipengaruhi oleh tekanan dan waktu pengeringan, di mana tekanan rendah mempercepat sublimasi tetapi meningkatkan porositas, sedangkan waktu pengeringan yang tidak optimal dapat menghambat pelepasan kadar air dan memengaruhi daya simpan produk.[10].

Penelitian yang dilakukan saat ini berfokus pada pengaruh tekanan vakum dan waktu pengeringan. Penelitian ini menggunakan variasi tekanan vakum yang digunakan 62,8 cmHg – 71,2 cmHg dan waktu pengeringan 8,2 – 13,8 jam dengan sampel ikan lele dengan massa 100 gram. Prinsip kerja alat *freeze drying* dimulai dari proses pembekuan ikan lele selama 24 jam untuk memperoleh suhu -10°C. Ikan lele kemudian dimasukkan ke mesin *freeze drying* untuk dilakukan proses pemvakuman dengan tekanan vakum dan waktu pengeringan yang telah ditentukan. Setelah proses vakum berjalan selama satu jam, pemanas dihidupkan dengan suhu yang disesuaikan antara 70°C hingga 80°C. Setelah proses *freeze drying* selesai, pengukuran kadar air yang tersisa dilakukan untuk setiap variasi tekanan vakum dan waktu pengeringan ikan dengan menimbang berat ikan sebelum dan sesudah proses *freeze drying*, lalu menghitung selisihnya dan membandingkan hasilnya dengan standar kadar air ikan kering menurut SNI.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi tekanan vakum dan waktu pengeringan terhadap kadar air hasil akhir pada proses *freeze drying*. Kedua parameter tersebut diduga memiliki peran penting dalam menentukan performa pengeringan, khususnya dalam mengendalikan efisiensi proses sublimasi dan kualitas produk yang dihasilkan. Semakin optimal pengaturan tekanan vakum dan waktu pengeringan, maka diharapkan semakin rendah kadar air yang tersisa pada bahan, sehingga produk memiliki daya simpan yang lebih baik. Sebaliknya, pengaturan parameter yang tidak sesuai berpotensi menurunkan efektivitas proses, meningkatkan kadar air residu, serta berdampak pada mutu dan ketahanan produk selama

penyimpanan. Penelitian ini dilaksanakan di Lantai 5, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, pada bulan Februari hingga April 2025.

Dengan demikian, hipotesis dalam penelitian ini dapat dirumuskan bahwa tekanan vakum dan waktu pengeringan berpengaruh signifikan terhadap kadar air pada proses *freeze drying*. Interaksi antara kedua variabel tersebut juga dipertimbangkan untuk melihat apakah kombinasi tertentu memberikan hasil yang lebih optimal. Secara statistik, hipotesis nol (H_0) menyatakan bahwa tidak terdapat pengaruh signifikan dari tekanan vakum, waktu pengeringan, maupun interaksinya terhadap kadar air ikan lele. Sebaliknya, hipotesis alternatif (H_1) menyatakan bahwa terdapat pengaruh signifikan dari salah satu atau kombinasi dari kedua variabel tersebut terhadap kadar air ikan lele.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen serta melakukan kajian pustaka dari berbagai literatur terkait. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kombinasi parameter operasi yang optimal antara tekanan vakum dan waktu pengeringan guna memperoleh kadar air produk akhir yang sesuai standar SNI 8273:2023. Metode penelitian yang diterapkan adalah eksperimen kuantitatif dengan metode *Response Surface Methodology* (RSM) menggunakan model *Central Composite Design* (CCD) untuk menganalisis pengaruh masing - masing faktor serta interaksinya terhadap kadar air hasil *freeze drying*. Adapun variasi tekanan vakum yang digunakan dalam percobaan ini adalah -62,8 cmHg, -64 cmHg, -67 cmHg, -70 cmHg, dan -71,2 cmHg dengan variasi waktu pengeringan selama 8,2 jam, 9 jam, 11 jam, dan 13 jam, dan 13,8 jam.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

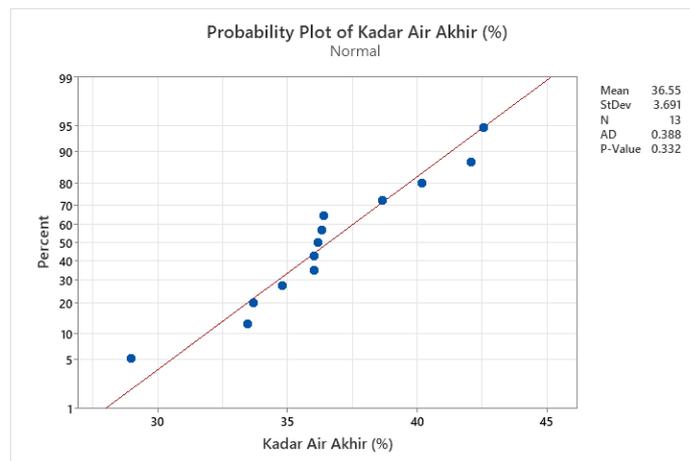
Berikut merupakan data hasil pengujian proses *freeze drying* pada beban ikan lele yang telah selesai dilakukan. Data yang diperoleh merupakan data akhir berupa persentase kadar air yang masih terkandung dalam ikan setelah proses pengeringan. Adapun kadar air awal pada ikan lele sebelum *freeze drying* yaitu sebesar 80%. Mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 827300:2023, kadar air yang diperbolehkan pada ikan kering adalah sebesar 40% dari total berat atau massa ikan. Perhitungan persentase kadar air sebelum dan setelah proses pengeringan dilakukan menggunakan rumus perbandingan berikut :

$$\frac{\text{Massa ikan sebelum dikeringkan}}{\text{Kadar Air Awal (80\%)}} = \frac{\text{Massa ikan setelah dikeringkan}}{\text{Kadar Air Akhir (\%)}}$$

Tabel 1. Tabel Data Kadar Air yang Tersisa

Tekanan Vakum (cmHg)	Waktu Pengeringan (jam)	Massa Akhir (gram)	Kadar Air Akhir (%)
-70.0	9.0	43.5	34.80
-64.0	9.0	52.6	42.08
-70.0	13.0	36.2	28.96
-64.0	13.0	48.3	38.64
-71.2	11.0	42.1	33.68
-62.8	11.0	50.2	40.16
-67.0	8.2	53.2	42.56
-67.0	13.8	41.8	33.44
-67.0	11.0	45.2	36.16
-67.0	11.0	45.0	36.00
-67.0	11.0	45.0	36.00
-67.0	11.0	45.4	36.32
-67.0	11.0	45.5	36.40

1. Uji Normalitas Data

**Gambar 1. Probability Plot of Kadar Air Akhir**

Sebelum melakukan analisis data, tahap awal yang penting adalah memeriksa distribusi data. Pada penelitian ini, pengecekan dilakukan menggunakan *normal probability plot* untuk memastikan apakah data variabel terikat berdistribusi normal. Hasil plot menunjukkan titik-titik data mengikuti garis normal dengan nilai P-Value sebesar $> 0,150$. Berdasarkan kriteria statistik, dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi normal dan layak untuk dianalisis lebih lanjut.

2. Pengaruh Variabel Bebas Terhadap Variabel Terikat

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	150.642	30.1285	16.39	0.001
Linear	2	146.942	73.4709	39.96	0.000
Tekanan Vakum (cmHg)	1	85.564	85.5638	46.54	0.000
Waktu Pengeringan (Jam)	1	61.378	61.3781	33.38	0.001
Square	2	2.261	1.1303	0.61	0.568
Tekanan Vakum (cmHg)*Tekanan Vakum (cmHg)	1	0.004	0.0044	0.00	0.962
Waktu Pengeringan (Jam)*Waktu Pengeringan (Jam)	1	2.247	2.2474	1.22	0.305
2-Way Interaction	1	1.440	1.4400	0.78	0.406
Tekanan Vakum (cmHg)*Waktu Pengeringan (Jam)	1	1.440	1.4400	0.78	0.406
Error	7	12.871	1.8387		
Lack-of-Fit	3	12.738	4.2459	127.58	0.000
Pure Error	4	0.133	0.0333		
Total	12	163.513			

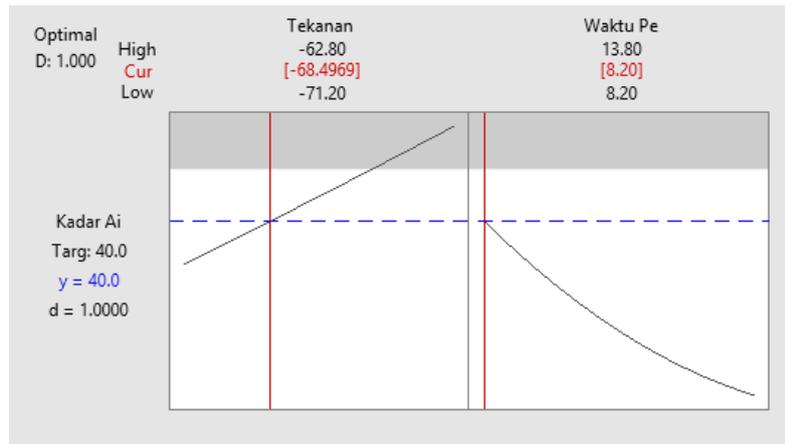
Gambar 2. Gambar Tabel ANOVA

Pada tabel ANOVA di atas yang diperoleh dari pengujian menggunakan metode RSM (*Response Surface Methodology*) dengan tingkat kepercayaan sebesar 95% dan nilai α (alfa) sebesar 5%. Nilai α merupakan batas maksimum kesalahan dalam pengambilan keputusan hipotesis alternatif (H_1) yang dapat diterima. Ketentuan dalam membaca tabel ANOVA adalah apabila nilai *P-Value* $> 0,05$ maka hipotesis nol (H_0) diterima, yang berarti faktor tersebut tidak berpengaruh signifikan terhadap respon. Sebaliknya, jika nilai *P-Value* $< 0,05$ maka hipotesis alternatif (H_1) diterima, yang berarti faktor tersebut berpengaruh signifikan terhadap respon.

Berdasarkan tabel ANOVA tersebut, variabel tekanan vakum memiliki nilai *P-Value* sebesar 0,000 atau $< 0,05$, sehingga hipotesis alternatif untuk variabel tekanan vakum diterima. Artinya, tekanan vakum berpengaruh signifikan terhadap kadar air akhir hasil *freeze drying*. Begitu pula dengan variabel waktu pengeringan yang memiliki nilai *P-Value* sebesar 0,001 atau $< 0,05$, yang menunjukkan bahwa waktu pengeringan juga berpengaruh signifikan terhadap kadar air akhir.

Sedangkan untuk faktor kuadrat seperti Tekanan Vakum² dan Waktu Pengeringan² memiliki nilai *P-Value* masing-masing sebesar 0,568 dan 0,305 atau $> 0,05$, yang berarti tidak berpengaruh signifikan terhadap respon. Demikian pula, interaksi antara Tekanan Vakum dan Waktu Pengeringan memiliki nilai *P-Value* sebesar 0,406, lebih dari 0,05, sehingga hipotesis nol diterima. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh interaksi yang signifikan antara kedua variabel bebas tersebut terhadap kadar air akhir.

3. Nilai Optimal Variabel Bebas

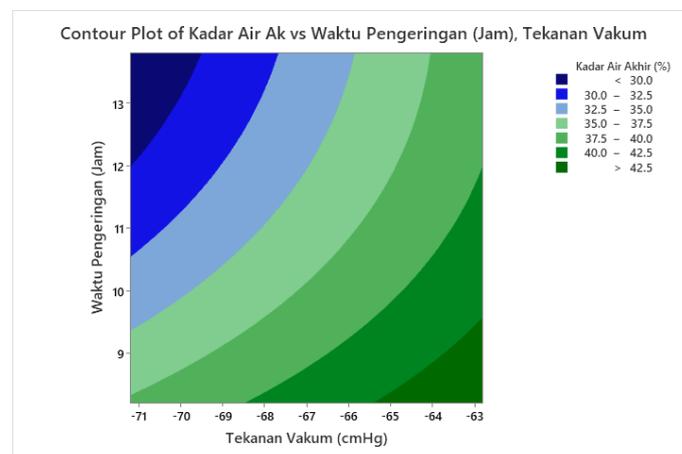


Gambar 3. Grafik *Response Optimization*

Pada penelitian ini digunakan metode RSM (*Response Surface Methodology*) dengan fungsi *optimize target*. Target yang ingin dicapai adalah nilai kadar air akhir ikan lele hasil proses *freeze drying* sebesar 40%, sesuai dengan standar Nasional Indonesia SNI No. 8273:2023 tentang ikan kering. Pada grafik di atas ditampilkan hasil dari proses optimasi, di mana grafik menunjukkan pengaruh masing - masing variabel bebas yaitu tekanan vakum dan waktu pengeringan terhadap nilai kadar air akhir.

Pada grafik tersebut, sumbu vertikal menunjukkan kadar air dalam satuan persen, sedangkan sumbu horizontal masing - masing mewakili nilai tekanan vakum dan waktu pengeringan. Garis vertikal merah menunjukkan titik nilai optimal dari masing-masing variabel bebas untuk mencapai target kadar air 40%. Hasil optimasi menunjukkan bahwa nilai tekanan vakum optimal berada di angka -68,4969 cmHg dan waktu pengeringan selama 8,2 jam.

4. Contour Plot



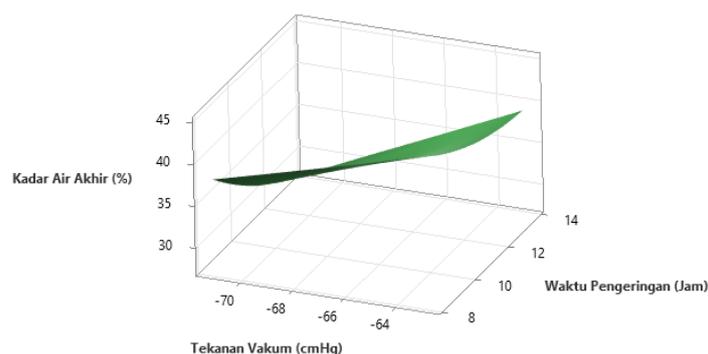
Gambar 4. Grafik *Contour Plot*

Pada gambar di atas ditampilkan grafik *contour plot* yang menggambarkan hubungan antara kedua variabel bebas yaitu tekanan vakum dan waktu pengeringan terhadap kadar air akhir ikan lele dalam satuan persen (%). Pada grafik *contour plot* ini, sumbu horizontal menunjukkan level tekanan vakum dalam satuan cmHg (sentimeter merkuri), sedangkan sumbu vertikal menunjukkan level waktu pengeringan dalam satuan jam. Grafik ini menggunakan enam gradasi warna mulai dari biru tua hingga hijau gelap. Gradasi warna tersebut menunjukkan perbedaan kadar air akhir pada ikan lele setelah proses *freeze drying*, di mana semakin gelap warna biru menunjukkan kadar air yang lebih rendah, sedangkan warna hijau gelap menunjukkan kadar air yang lebih tinggi.

Berdasarkan grafik *contour plot*, kadar air terendah yakni di bawah 30% ditunjukkan oleh daerah berwarna biru tua yang terletak di sisi kiri atas grafik pada kombinasi tekanan vakum sekitar -71 cmHg dan waktu pengeringan lebih dari 13 jam. Sementara itu, kadar air tertinggi yaitu di atas 42,5% ditunjukkan oleh gradasi warna hijau gelap yang berada di sisi kanan bawah grafik, pada kombinasi tekanan vakum sekitar -63 cmHg dan waktu pengeringan mendekati 8 jam. Dari grafik ini dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan kadar air akhir ikan lele yang rendah, diperlukan kombinasi tekanan vakum yang lebih rendah dengan waktu pengeringan yang lebih lama. Sebaliknya, kombinasi tekanan vakum yang lebih rendah dan waktu pengeringan yang singkat akan menghasilkan kadar air sisa yang masih tinggi.

5. Surface Plot

Surface Plot of Kadar Air Akhir (%) vs Waktu Pengeringan (Jam), Tekana



Gambar 5. Grafik *Surface Plot*

Pada gambar di atas ditampilkan grafik *surface plot* yang menggambarkan pengaruh tekanan vakum dan waktu pengeringan terhadap kadar air akhir ikan lele hasil proses *freeze drying*. Pada grafik *surface plot* ini terdapat tiga sumbu, yaitu sumbu X yang menunjukkan variabel bebas tekanan vakum dalam satuan cmHg, sumbu Y yang menunjukkan variabel bebas

waktu pengeringan dalam satuan jam, serta sumbu Z yang menunjukkan variabel terikat berupa kadar air akhir dalam satuan persen (%). Ketiga sumbu tersebut dihubungkan sehingga membentuk permukaan yang menggambarkan pengaruh kombinasi variabel tekanan vakum dan waktu pengeringan terhadap kadar air yang tersisa.

Pada grafik *surface plot* ini dapat dilihat bahwa permukaan cenderung menurun ke arah tekanan vakum yang lebih rendah dan waktu pengeringan yang lebih lama. Hal ini menunjukkan bahwa semakin rendah nilai tekanan vakum dan semakin lama waktu pengeringan, maka kadar air akhir pada ikan lele hasil *freeze drying* akan semakin rendah. Sebaliknya, kombinasi tekanan vakum yang lebih tinggi dan waktu pengeringan yang singkat akan menghasilkan kadar air yang lebih tinggi. Permukaan paling rendah pada grafik menunjukkan nilai kadar air yang paling kecil, sedangkan permukaan yang paling tinggi menunjukkan kadar air yang paling besar. Berdasarkan grafik ini, kadar air terendah terdapat pada tekanan vakum sekitar -70 cmHg dengan waktu pengeringan di atas 13 jam, sedangkan kadar air tertinggi terdapat pada tekanan vakum mendekati -63 cmHg dengan waktu pengeringan di bawah 9 jam.

6. Regression

Regression Equation

$$\text{Kadar Air Akhir (\%)} = 125.3 + 1.096 \text{ Tekanan Vakum (cmHg)} - 1.392 \text{ Waktu Pengeringan (Jam)}$$

Gambar 6. Persamaan Regresi

Pada gambar di atas merupakan persamaan regresi yang diperoleh dari hasil pengolahan data menggunakan metode regresi linear. Fungsi dari persamaan regresi ini adalah untuk melakukan prediksi atau estimasi terhadap nilai variabel terikat apabila nilai dari variabel bebas diubah atau dimodifikasi di luar nilai yang digunakan dalam penelitian ini. Persamaan regresi ini tersusun atas konstanta dan koefisien regresi yang masing - masing dikalikan dengan nilai variabel bebas sesuai levelnya.

Persamaan regresi tersebut menunjukkan hubungan antara kadar air akhir (%) dengan dua variabel proses, yaitu tekanan vakum (cmHg) dan waktu pengeringan (jam). Berdasarkan persamaan, setiap kenaikan 1 cmHg tekanan vakum akan meningkatkan kadar air akhir sebesar 1,096%, sedangkan setiap penambahan 1 jam waktu pengeringan akan menurunkan kadar air akhir sebesar 1,392%.

7. Pembahasan

Pada penelitian ini terdapat 2 variabel bebas yaitu tekanan vakum dan waktu pengeringan, sedangkan variabel terikatnya adalah kadar air yang tersisa pada ikan lele setelah proses *freeze drying*. Kadar air ini harus memenuhi ketentuan sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) No. 8273:2023 tentang ikan kering, yang menyatakan bahwa kadar air maksimum pada ikan kering hasil pengeringan adalah sebesar 40%. Penelitian ini menggunakan ikan lele sebagai objek bahan uji.

Berdasarkan pengolahan data yang dianalisis menggunakan *software Minitab*, diperoleh bahwa kedua variabel bebas yaitu tekanan vakum dan waktu pengeringan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kadar air pada ikan lele. Besarnya pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat dapat dilihat dari nilai *P-value* pada tabel *Analysis of Variance* (ANOVA). Nilai *P-Value* untuk variabel tekanan vakum adalah 0,000 dan untuk variabel waktu pengeringan adalah 0,001. Karena nilai *P-Value* kedua variabel lebih kecil dari nilai $\alpha = 0,05$, maka dapat disimpulkan bahwa hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H) diterima. Artinya, tekanan vakum dan waktu pengeringan berpengaruh signifikan terhadap kadar air ikan lele hasil *freeze drying*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi tekanan vakum dan massa ikan terhadap kadar air ikan lele pada proses *freeze drying*. Telah didapatkan hasil data yaitu kadar air ikan lele dengan variabel bebas tekanan vakum dan waktu pengeringan yang telah divariasikan dengan menggunakan metode CCD (*Central Composite Design*). Proses *freeze drying* memiliki keunggulan dibandingkan metode pengeringan lainnya karena dapat mempertahankan mutu bahan dengan memanfaatkan proses sublimasi, di mana air dalam bentuk es diubah langsung menjadi uap tanpa melalui fase cair, sehingga kandungan nutrisi, warna, dan tekstur bahan lebih terjaga.

Pada proses ini, ikan lele dalam kondisi beku diproses dengan vakum pada tekanan tertentu, lalu dipanaskan secara bertahap dari suhu -10°C hingga $70-80^{\circ}\text{C}$ di ruang vakum untuk membantu proses sublimasi dan menghilangkan sisa air terikat. Hasil akhir diharapkan menghasilkan kadar air sesuai standar SNI, yaitu maksimal 40%.

Salah satu variabel bebas yang diteliti adalah tekanan vakum. Dari hasil pengamatan, tekanan vakum menunjukkan pengaruh signifikan terhadap hasil kadar air ikan. Pada massa ikan yang sama yaitu 100 gram, variasi tekanan vakum sebesar -70 cmHg dan -64 cmHg dengan waktu pengeringan yang sama yaitu 9 jam, memberikan perbedaan hasil yang nyata. Ikan lele dengan tekanan vakum -70 cmHg secara visual lebih kering, berwarna lebih coklat, dan teksturnya lebih keras dibandingkan ikan lele dengan tekanan -64 cmHg yang teksturnya lebih lembek dan berwarna kemerahan, menunjukkan masih tingginya kadar air.

Hasil ini diperkuat oleh data pada tabel hasil pengujian kadar air, di mana kadar air pada tekanan -70 cmHg dengan massa 100 gram dan waktu pengeringan 9 jam adalah 35%, sedangkan pada tekanan -64 cmHg adalah 42%. Hasil ini sejalan dengan Penelitian yang berjudul “Uji Performansi Alat *Freeze Drying* Pengaruh Tekanan Vakum dan Temperatur Pendinginan Terhadap Kadar Air Cabai” yang menyatakan bahwa semakin rendah tekanan vakum di bawah titik tripel fase air, maka kandungan air yang tersisa akan semakin sedikit. Tekanan vakum berperan penting dalam proses sublimasi, sehingga pengurangan tekanan yang optimal akan meningkatkan efisiensi pengeringan.[7].

Selain tekanan vakum, variabel waktu pengeringan juga berpengaruh terhadap kadar air hasil *freeze drying*. Pada gambar hasil pengamatan, ikan lele dengan waktu pengeringan 9 tampak lebih lembek dan berwarna lebih merah dibandingkan ikan lele dengan waktu pengeringan 13 jam yang memiliki warna kecoklatan. Keduanya diberikan perlakuan tekanan vakum sama yaitu -70 cmHg.

Dari hasil uji kadar air ikan lele pada tekanan -70 cmHg dengan massa 100 gram dan waktu pengeringan 9 jam memiliki kadar air 35%, sedangkan ikan dengan waktu pengeringan 13 jam memiliki kadar air 29%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu pengeringan ikan yang diproses maka semakin berkurang kadar air pada ikan. Hal ini di sebabkan karena semakin lama waktu pengeringan, proses sublimasi air dari tubuh ikan lele berlangsung lebih maksimal. Dengan bertambahnya waktu pengeringan, sisa - sisa air yang masih terikat di dalam jaringan ikan dapat lebih banyak teruapkan sehingga kadar air akhir menjadi semakin rendah.

Pada hasil analisis ANOVA, interaksi antara tekanan vakum dan waktu pengeringan terhadap kadar air menunjukkan nilai *P-Value* sebesar 0,406, yang berarti tidak signifikan pada tingkat signifikansi 0,05. Hal ini mengindikasikan bahwa kombinasi antara variasi tekanan vakum dan lama waktu pengeringan tidak memberikan pengaruh nyata terhadap perubahan kadar air pada proses *freeze drying*. Masing - masing faktor lebih dominan memengaruhi kadar air secara mandiri tanpa adanya efek saling memperkuat atau memperlemah ketika diaplikasikan secara bersamaan. Kondisi ini diduga disebabkan oleh karakteristik proses *freeze drying* itu sendiri, di mana tekanan vakum berperan mempercepat proses sublimasi, sedangkan waktu pengeringan menentukan lamanya proses tersebut berlangsung. Karena kedua faktor bekerja secara terpisah dalam memengaruhi kadar air, efek interaksi yang terbentuk tidak memberikan kontribusi signifikan. Selain itu, rentang variasi tekanan vakum dan waktu pengeringan yang digunakan dalam penelitian ini kemungkinan belum cukup lebar untuk memunculkan efek interaksi yang berarti terhadap respon kadar air.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh tekanan vakum dan waktu pengeringan terhadap kadar air ikan lele (*Clarias sp.*) menggunakan metode pengeringan beku (*freeze drying*) dan analisis menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM) dengan rancangan *Central Composite Design* (CCD), maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Variabel bebas tekanan vakum berpengaruh signifikan terhadap variabel terikat berupa kadar air ikan lele hasil *freeze drying*. Hal ini ditunjukkan dengan nilai *P-Value* pada tabel ANOVA yang bernilai kurang dari nilai $\alpha = 0,05$, yaitu tekanan vakum sebesar 0,000.
2. Variabel bebas waktu pengeringan berpengaruh signifikan terhadap variabel terikat berupa kadar air ikan lele hasil *freeze drying*. Hal ini ditunjukkan dengan nilai *P-Value* pada tabel ANOVA yang bernilai kurang dari nilai $\alpha = 0,05$, yaitu waktu pengeringan sebesar 0,001.
3. Berdasarkan hasil analisis ANOVA, diketahui bahwa interaksi antara tekanan vakum dan waktu pengeringan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar air pada proses *freeze drying*, ditunjukkan oleh nilai *P-Value* sebesar 0,406 yang jauh di atas batas signifikansi 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi antara tekanan vakum dan waktu pengeringan secara bersamaan tidak menghasilkan perubahan kadar air yang lebih besar dibandingkan pengaruh masing-masing faktor secara individu. Dengan kata lain, penurunan kadar air lebih dipengaruhi oleh tekanan vakum dan waktu pengeringan secara terpisah, tanpa adanya efek interaksi yang saling memperkuat atau memperlemah di antara keduanya. Kondisi ini diduga terjadi karena masing-masing faktor telah memberikan kontribusi yang cukup kuat secara mandiri dalam menurunkan kadar air, sehingga ketika dikombinasikan, tidak terjadi peningkatan efek yang signifikan terhadap respon kadar air.
4. Berdasarkan hasil optimasi yang dilakukan menggunakan *software Minitab*, diperoleh nilai optimal untuk menghasilkan kadar air ikan lele sebesar 40% sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI No. 8273:2023) adalah pada tekanan vakum sebesar 68,4969 cmHg dengan waktu pengeringan selama 8,2 jam.

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

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan melakukan uji mutu lainnya seperti uji kadar protein, kadar lemak, warna, dan tekstur ikan lele hasil *freeze drying* guna mendapatkan data lebih lengkap mengenai kualitas produk hasil pengeringan beku.
2. Pengembangan sistem *monitoring* dan kontrol proses *freeze drying* yang otomatis dan presisi sangat diperlukan untuk memastikan kualitas produk yang konsisten dan efisiensi produksi.
3. Sebagai pengembangan lebih lanjut, metode *freeze drying* ini dapat diterapkan pada jenis ikan atau hasil perikanan lain guna mengetahui efektivitas metode ini dalam mempertahankan mutu produk hasil perikanan sesuai standar yang berlaku.

DAFTAR REFERENSI

- Aldion, M. T., & Wirawan. (2023). Uji performa alat freeze drying: Pengaruh tekanan vakum dan temperatur pendingin terhadap kadar air cabai. Politeknik Negeri Malang.
- Anis, M. Y., et al. (2019). Pemberian pakan komersial dengan penambahan EM4 (Effective Microorganism 4) untuk meningkatkan laju pertumbuhan Lele (*Clarias* sp.). *Jurnal Riset Biologi*, dari <https://journal.unesa.ac.id/index.php/risetbiologi>
- Bhatta, S., Janezic, T. S., & Ratti, C. (2020). Freeze-drying of plant-based foods. *Foods*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/foods9010087>
- Habibi, N. A., Fathia, S., & Utami, C. T. (2019). Perubahan karakteristik bahan pangan pada keripik buah dengan metode freeze drying (review).
- Hu, J., et al. (2022). Optimization of conditions for a freeze-dried restructured strawberry block by adding guar gum, pectin and gelatin. *Plants*, 11(21). <https://doi.org/10.3390/plants11212809>
- Ilminingtyas, D., Handayani, W., & Kartikawati, D. (2015). Serat Acitya: Stik Lele alternatif diversifikasi olahan *Clarias* sp. tanpa limbah berkalsium tinggi. *Jurnal Ilmiah UNTAG Semarang*.
- Mansyur, M. R., & Pandi, R. A. (2020). Kaji eksperimental performa mesin freeze drying dengan beban ikan bandeng.
- Mulyadi, M., & Indriati, K. (2021). Charitas pendampingan pengolahan lele menjadi abon lele tanpa minyak di Desa Sampora, Tangerang.
- Nowak, D., & Jakubczyk, E. (2020). The freeze-drying of foods: The characteristic of the process course and the effect of its parameters on the physical properties of food materials. *Foods*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/foods9101488>

- Prasetya, W., & Yastanto, A. J. (n.d.). Evaluasi waktu pengeringan pada metode freeze drying terhadap karakteristik kacang tanah, bawang putih, dan tomat menggunakan alat Labconco FreeZone 2.5 L.
- Trelea, I. C., et al. (2023). Recent developments in the hybridization of the freeze-drying process: Enhancements toward energy-efficient food dehydration. *Foods*, 12(23), artikel review [sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com)+[6pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov)+[6tandfonline.com](https://www.tandfonline.com)+[6pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov)
- Trelea, I. C., et al. (2024). Novel efficient physical technologies for enhancing freeze-drying of fruits and vegetables: A review on hybrid methods.
- Waghmare, R. B., Perumal, A. B., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2021). Recent developments in freeze-drying of foods. In *Innovative Food Processing Technologies: A Comprehensive Review* (Vol. 3, pp. 82–99). Elsevier [researchgate.net](https://www.researchgate.net).