



Pendugaan Umur Simpan Biskuit Berkrim Menggunakan Accelerated Shelf Life Testing Berdasarkan Pendekatan Kadar Air Kritis dan Model Isotermis Sorpsi Air

Herdianza¹, Bagus Aji Waskito², Anjas Wilapangga³

¹Chemical Engineering Departement, Universitas Muhammadiyah Jakarta

²Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada

³Farmasi, Universitas Ibnu Chaldun

Correspondent Email: herdianzaipin@gmail.com

Abstrak

Penentuan umur simpan merupakan tahapan penting dalam menjamin mutu dan keamanan produk pangan, khususnya produk biskuit yang bersifat higroskopis. Penelitian ini bertujuan menduga umur simpan biskuit berkrim menggunakan metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) berdasarkan pendekatan kadar air kritis melalui pemodelan isotermis sorpsi air. Penelitian dilakukan dengan menentukan kadar air awal (M_0), kadar air kritis (M_c), kadar air kesetimbangan (M_e), serta mengevaluasi enam model isotermis sorpsi air, yaitu Hasley, Henderson, Chen-Clayton, Caurie, Oswin, dan Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB). Model terbaik dipilih berdasarkan nilai *Mean Relative Deviation* (MRD) dan digunakan dalam perhitungan umur simpan menggunakan persamaan Labuza pada kondisi penyimpanan 30°C dan kelembapan relatif 70%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air awal produk sebesar 0,0217 g H₂O/g padatan dan kadar air kritis sebesar 0,0437 g H₂O/g padatan. Kadar air kesetimbangan meningkat seiring bertambahnya aktivitas air lingkungan, menunjukkan karakteristik higroskopis produk. Model GAB memberikan tingkat ketelitian tertinggi dengan nilai MRD sebesar 5,45%, lebih baik dibandingkan model Hasley (7,86%) maupun model lainnya. Berdasarkan model GAB diperoleh estimasi umur simpan selama 443 hari atau sekitar 14,77 bulan, sedangkan model Hasley menghasilkan umur simpan 431 hari atau 14,37 bulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model GAB merupakan model isotermis yang paling representatif dalam menggambarkan perilaku sorpsi air biskuit berkrim sehingga layak digunakan sebagai dasar penentuan umur simpan produk.

Kata kunci: Accelerated Shelf Life Testing, kadar air kritis, isotermis sorpsi air, model GAB, umur simpan, biskuit berkrim.

Abstract

Shelf-life determination is essential to ensure the quality and safety of food products, particularly hygroscopic products such as cream-filled biscuits. This study aimed to estimate the shelf life of cream-filled biscuits using the *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) method based on the critical moisture content approach through moisture sorption isotherm modeling. The study involved determining the initial moisture content (M_0), critical moisture content (M_c), equilibrium moisture content (M_e), and evaluating six moisture sorption isotherm models, namely Hasley, Henderson, Chen-Clayton, Caurie, Oswin, and Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB). The best model was selected based on the *Mean Relative Deviation* (MRD) and subsequently applied to estimate shelf life using the Labuza equation under storage conditions of 30°C and 70% relative

humidity. The results showed that the initial moisture content and critical moisture content were 0.0217 and 0.0437 g H₂O/g dry solid, respectively. The equilibrium moisture content increased with increasing water activity, indicating the hygroscopic behavior of the product. Among the evaluated models, the GAB model exhibited the highest predictive accuracy with the lowest MRD value (5.45%), outperforming the Hasley model (7.86%) and the other tested models. Shelf-life estimation based on the GAB model predicted a storage stability of 443 days (14.77 months), while the Hasley model estimated 431 days (14.37 months). These findings demonstrate that the GAB model provides the most reliable representation of moisture sorption behavior and is therefore recommended for predicting the shelf life of cream-filled biscuits using the ASLT critical moisture approach.

Keywords: Accelerated Shelf Life Testing, critical moisture content, moisture sorption isotherm, GAB model, shelf life, cream-filled biscuit.

Accepted Date: 15 July 2026

Publish Date: 25 July 2026

Pendahuluan

Biskuit merupakan salah satu produk pangan kering yang banyak dikonsumsi karena memiliki cita rasa yang baik, umur simpan relatif panjang, serta praktis dalam penyimpanan dan distribusi. Karakteristik utama biskuit adalah kadar air yang rendah sehingga menghasilkan tekstur renyah yang menjadi atribut mutu utama bagi konsumen. Namun demikian, sifat higroskopis bahan penyusun biskuit menyebabkan produk mudah menyerap uap air dari lingkungan selama penyimpanan. Penyerapan uap air tersebut dapat meningkatkan kadar air produk, menurunkan kerenyahan, serta mempercepat penurunan mutu sehingga pada akhirnya mempersingkat umur simpan produk [1].

Penentuan umur simpan merupakan tahapan penting dalam pengembangan produk pangan karena berkaitan langsung dengan jaminan mutu, keamanan pangan, kepatuhan terhadap regulasi pelabelan, serta kepuasan konsumen. Umur simpan didefinisikan sebagai periode ketika suatu produk masih mampu mempertahankan karakteristik fisik, kimia, mikrobiologi, dan sensori pada kondisi penyimpanan tertentu. Informasi umur simpan juga menjadi dasar dalam penetapan tanggal kedaluwarsa yang diwajibkan oleh berbagai regulasi pangan serta berperan penting dalam sistem distribusi dan pengendalian kualitas produk pangan [2].

Metode penentuan umur simpan secara langsung (*real-time shelf-life testing*) memerlukan waktu yang relatif lama sehingga kurang efisien untuk kebutuhan industri pangan yang membutuhkan pengambilan keputusan secara cepat. Oleh karena itu, metode Accelerated Shelf Life Testing (ASLT) banyak digunakan sebagai pendekatan alternatif karena mampu mempercepat laju kerusakan produk melalui pengaturan kondisi penyimpanan yang lebih ekstrem tanpa mengubah mekanisme kerusakan utama produk. Pada produk pangan kering seperti biskuit, pendekatan kadar air kritis (*critical moisture content approach*) menjadi salah satu metode yang paling banyak digunakan karena penurunan mutu terutama dipengaruhi oleh peningkatan kadar air selama penyimpanan [3].

Keberhasilan metode ASLT dengan pendekatan kadar air kritis sangat dipengaruhi oleh kemampuan dalam menggambarkan hubungan antara aktivitas air lingkungan (*water activity, a_w*) dengan kadar air kesetimbangan produk. Hubungan tersebut dinyatakan melalui kurva isoterms sorpsi air (*moisture sorption isotherm, MSI*), yang

merupakan parameter penting dalam memprediksi perpindahan uap air selama penyimpanan. Berbagai model matematika telah dikembangkan untuk menggambarkan fenomena tersebut, di antaranya model Hasley, Henderson, Chen-Clayton, Caurie, Oswin, dan Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB). Masing-masing model memiliki tingkat ketepatan yang berbeda bergantung pada karakteristik bahan pangan, sehingga diperlukan evaluasi untuk menentukan model yang paling representatif terhadap kondisi aktual produk [4].

Penilaian ketepatan model isothermis umumnya dilakukan menggunakan nilai Mean Relative Deviation (MRD), di mana model dengan nilai MRD terkecil dianggap memiliki kemampuan prediksi yang lebih baik terhadap kadar air kesetimbangan produk. Pemilihan model isothermis yang sesuai akan menghasilkan estimasi parameter kurva yang lebih akurat, sehingga perhitungan umur simpan menggunakan persamaan Labuza dapat dilakukan dengan tingkat ketelitian yang lebih tinggi. Dengan demikian, evaluasi model isothermis menjadi tahapan penting dalam meningkatkan reliabilitas prediksi umur simpan produk pangan higroskopis.

Penelitian ini bertujuan untuk menduga umur simpan biskuit berkrum menggunakan metode Accelerated Shelf Life Testing (ASLT) berdasarkan pendekatan kadar air kritis melalui pemodelan isothermis sorpsi air. Enam model isothermis, yaitu Hasley, Chen-Clayton, Henderson, Caurie, Oswin, dan GAB, dievaluasi berdasarkan nilai Mean Relative Deviation (MRD) untuk menentukan model yang paling sesuai dalam menggambarkan karakteristik sorpsi air produk. Model terbaik selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan umur simpan menggunakan persamaan Labuza pada kondisi penyimpanan yang telah ditentukan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pendekatan ilmiah yang lebih akurat dalam estimasi umur simpan biskuit berkrum sekaligus menjadi referensi bagi industri pangan dalam pengembangan sistem penjaminan mutu dan penetapan masa simpan produk.

Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bertujuan untuk menduga umur simpan biskuit berkrum menggunakan metode Accelerated Shelf Life Testing (ASLT) berdasarkan pendekatan kadar air kritis (*critical moisture content*). Estimasi umur simpan dilakukan melalui integrasi pengukuran kadar air awal, kadar air kritis, kadar air kesetimbangan, pemodelan isothermis sorpsi air, serta persamaan Labuza.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan meliputi biskuit berkrum sebagai sampel uji, aquades, serta larutan garam jenuh yang menghasilkan kelembapan relatif (Relative Humidity/RH) berbeda, yaitu NaOH, MgCl₂, KI, NaCl, KCl, dan BaCl₂. Larutan garam jenuh tersebut digunakan untuk membentuk kondisi kelembapan relatif yang berbeda selama pengujian kadar air kesetimbangan.

Peralatan yang digunakan meliputi botol timbang tertutup, oven pengering, desikator, neraca analitik, serta peralatan laboratorium pendukung untuk analisis kadar air sesuai metode standar.

Penentuan Kadar Air Awal (Mo)

Kadar air awal (Mo) ditentukan berdasarkan metode gravimetri mengacu pada SNI 2973:2018 yang mengadopsi SNI ISO 712. Analisis dilakukan secara duplo untuk memperoleh nilai kadar air awal produk sebelum penyimpanan. Hasil kadar air dinyatakan dalam satuan g H₂O/g padatan sebagai kadar air awal (Mo), yang selanjutnya digunakan dalam perhitungan umur simpan.

Penentuan Kadar Air Kritis (Mc)

Kadar air kritis ditentukan melalui pengujian organoleptik menggunakan 10 panelis dengan metode *descriptive scoring*. Sampel disimpan tanpa kemasan di dalam desikator yang mengandung larutan garam jenuh NaCl sehingga menghasilkan kelembapan relatif sekitar 72,5% RH. Pengamatan dilakukan secara berkala terhadap atribut tekstur hingga panelis menyatakan produk tidak dapat diterima. Produk dinyatakan mengalami penolakan apabila nilai rata-rata skor tekstur berada di bawah tiga. Sampel pada saat titik penolakan tersebut kemudian dianalisis kadar airnya menggunakan metode gravimetri untuk memperoleh kadar air kritis (Mc).

Penentuan Berat Kering Produk (Ws)

Berat bersih produk ditimbang sebanyak sepuluh kali ulangan untuk memperoleh rata-rata berat produk dalam setiap kemasan. Berat kering produk (Ws) dihitung berdasarkan berat rata-rata sampel dan kadar air awal yang telah diperoleh sebelumnya sehingga dinyatakan sebagai gram padatan per kemasan. Parameter ini digunakan sebagai salah satu variabel dalam persamaan Labuza.

Penentuan Kadar Air Kesetimbangan (Me)

Sampel disimpan pada enam kondisi kelembapan relatif yang dihasilkan oleh larutan garam jenuh NaOH, MgCl₂, KI, NaCl, KCl, dan BaCl₂ hingga mencapai kondisi kesetimbangan. Setelah tercapai keseimbangan, kadar air setiap sampel ditentukan menggunakan metode gravimetri. Nilai kadar air kesetimbangan (Me) kemudian dipasangkan dengan nilai aktivitas air (*water activity*, *a_w*) masing-masing larutan garam jenuh untuk membentuk kurva isotermis sorpsi air.

Pemodelan Isotermis Sorpsi Air

Hubungan antara aktivitas air dan kadar air kesetimbangan dianalisis menggunakan enam model isotermis sorpsi air, yaitu Hasley, Chen-Clayton, Henderson, Caurie, Oswin, dan Guggenheim–Anderson–de Boer (GAB). Seluruh model ditransformasikan menjadi bentuk linier melalui transformasi logaritmik sesuai persamaan masing-masing sehingga dapat dilakukan analisis regresi linier. Parameter model yang diperoleh digunakan untuk menghitung kadar air kesetimbangan teoritis pada setiap nilai aktivitas air.

Evaluasi Model Isotermis

Ketepatan masing-masing model isotermis dievaluasi menggunakan nilai Mean Relative Deviation (MRD), yang dihitung berdasarkan selisih antara kadar air hasil percobaan dan kadar air hasil prediksi model. Model dengan nilai MRD terkecil dipilih sebagai model yang paling representatif dalam menggambarkan karakteristik sorpsi air biskuit berkrum dan digunakan dalam tahap estimasi umur simpan.

Pendugaan Umur Simpan

Pendugaan umur simpan dilakukan menggunakan persamaan Labuza dengan memasukkan parameter kadar air awal (M_0), kadar air kritis (M_c), kadar air kesetimbangan (M_e), slope kurva isotermis, permeabilitas uap air kemasan (k/x), berat kering produk (W_s), luas permukaan kemasan (A), serta tekanan uap air jenuh (P_0). Estimasi dilakukan pada kondisi penyimpanan 30°C dan RH 70% menggunakan model isotermis terpilih, kemudian dibandingkan dengan model pembanding untuk mengevaluasi konsistensi hasil prediksi umur simpan.

Analisis Data

Seluruh data diolah menggunakan Microsoft Excel. Analisis meliputi perhitungan kadar air awal, kadar air kritis, kadar air kesetimbangan, penyusunan kurva isotermis sorpsi air, analisis regresi linier pada masing-masing model isotermis, perhitungan nilai MRD, serta estimasi umur simpan menggunakan persamaan Labuza. Model isotermis dengan nilai MRD terendah dipilih sebagai model terbaik untuk memprediksi umur simpan biskuit berkrum.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorium yang bertujuan untuk mengevaluasi perubahan mutu tepung biji nangka (*Artocarpus heterophyllus*) selama penyimpanan berdasarkan karakteristik proksimat dan cemaran mikrobiologi. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan mutu awal sebelum penyimpanan dan mutu akhir setelah penyimpanan hingga produk mengalami penurunan mutu berdasarkan hasil pengamatan organoleptik.

Hasil dan Pembahasan

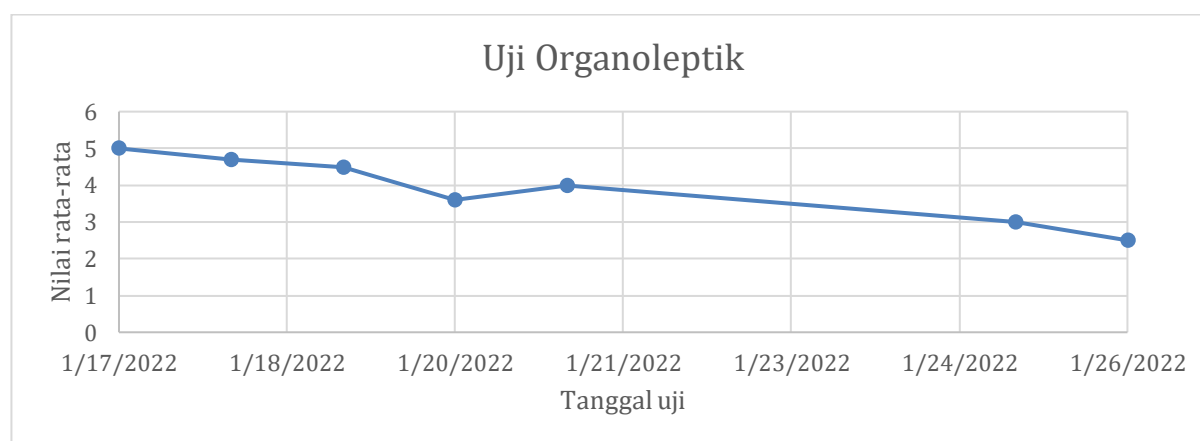
4.1.1 Kadar Air Awal (M_0) dan Kadar Air Kritis (M_c)

Tabel 4.2.1.1. Hasil Perhitungan Kadar Air Awal (M_0) Produk Biskuit

Replikat	W (g)	Kosong W (g)	Sampel W (g)	Pemanasan W (g)	% Air	M_0 (g solid)	H ₂ O/g
1	73,4760	5,0399	78,4068	2,16	0,0221		
2	70,9019	5,0016	75,7996	2,08	0,0212		
Rata-rata				2,12	0,0217		

Berdasarkan Tabel 4.2.1.1 diketahui bahwa kadar air awal produk biskuit berada pada kisaran 2,08–2,16%, dengan rata-rata kadar air awal (Mo) sebesar 0,0217 g H₂O/g padatan. Nilai tersebut masih berada di bawah batas maksimum kadar air biskuit menurut SNI 2973:2018, yaitu sebesar 5%, sehingga produk memenuhi persyaratan mutu pangan kering. Rendahnya kadar air awal menunjukkan bahwa proses pemanggangan berlangsung optimal dan menghasilkan produk dengan aktivitas air rendah. Kondisi ini penting karena semakin rendah kadar air awal maka semakin lama waktu yang diperlukan produk untuk mencapai kadar air kritis selama penyimpanan [5].

Grafik 4.2.1 Hasil Uji Organoleptik Produk Biskuit



Grafik menunjukkan bahwa skor tekstur produk mengalami penurunan secara bertahap selama penyimpanan. Pada hari pertama skor rata-rata panelis sebesar 5, kemudian menurun menjadi sekitar 4,8, 4,5, 3,6, 4,0, 3,0, hingga mencapai 2,5 pada akhir pengamatan. Penurunan tersebut menunjukkan adanya penyerapan uap air dari lingkungan sehingga kerenyahan biskuit berkurang. Produk dinyatakan mulai ditolak panelis ketika nilai rata-rata berada di bawah skor 3, sehingga waktu tersebut digunakan sebagai dasar penentuan kadar air kritis [6].

Tabel 4.2.1.2 Hasil Perhitungan Kadar Air Kritis (Mc)

Replikat	W Kosong (g)	W Sampel (g)	W Pemanasan (g)	% Air	Mc (g solid)	H ₂ O/g
1	69,0433	5,0398	73,8691	4,2462	0,0443	
2	66,6054	5,0343	71,4320	4,1257	0,0430	
Rata-rata				4,19	0,0437	

Tabel 4.2.1.2 menunjukkan bahwa kadar air kritis rata-rata produk sebesar 0,0437 g H₂O/g padatan. Nilai ini merupakan batas kadar air ketika tekstur produk sudah tidak dapat diterima oleh panelis. Dibandingkan dengan kadar air awal, terjadi peningkatan kadar air hampir dua kali lipat, yang menunjukkan bahwa sedikit peningkatan kadar air pada produk biskuit sudah mampu menurunkan karakteristik kerenyahannya secara signifikan.

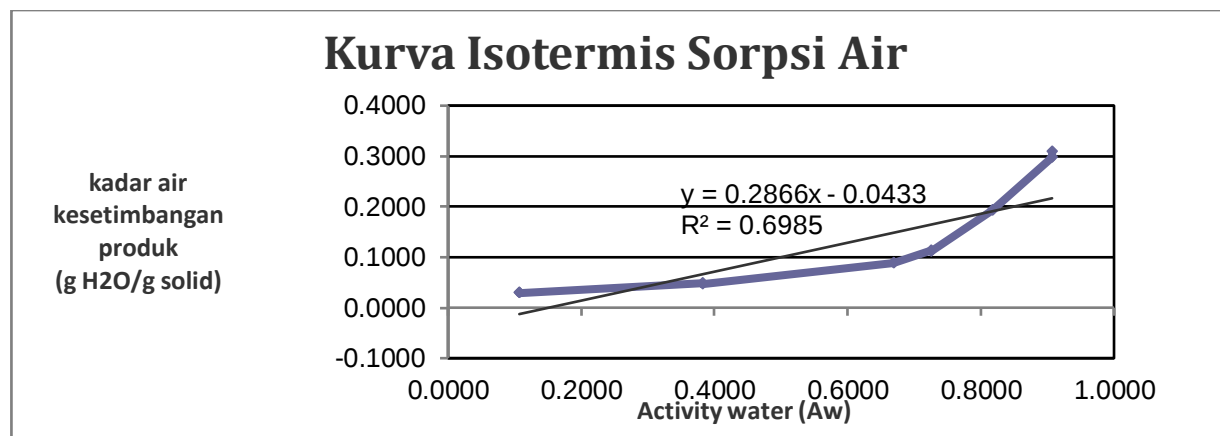
4.2.2 Kadar Air Kesetimbangan (Me)

Tabel 4.2.2 Hasil Perhitungan Kadar Air Kesetimbangan

Garam Jenuh	RH (%)	Aw	Waktu (hari)	% Air	Me (g H ₂ O/g solid)
NaOH	10,7	0,107	3	2,8340	0,0292
MgCl₂	38,2	0,382	3	4,5163	0,0473
KI	66,9	0,669	7	8,1130	0,0883
NaCl	72,5	0,725	16	10,1397	0,1128
KCl	81,7	0,817	10	16,1261	0,1923
BaCl₂	90,7	0,907	9	23,3037	0,3039

Tabel 4.2.2 memperlihatkan bahwa kadar air kesetimbangan meningkat seiring meningkatnya kelembapan relatif lingkungan. Pada RH 10,7% kadar air kesetimbangan hanya 0,0292 g H₂O/g padatan, sedangkan pada RH 90,7% meningkat menjadi 0,3039 g H₂O/g padatan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kelembapan lingkungan, semakin besar jumlah uap air yang diserap produk hingga mencapai kondisi kesetimbangan.

Gambar 4.2.2 Kurva Isotermis Sorpsi Air



Kurva isotermis menunjukkan hubungan positif antara aktivitas air (Aw) dengan kadar air kesetimbangan. Bentuk kurva menyerupai pola sigmoidal yang merupakan karakteristik khas produk pangan kering. Pada Aw rendah peningkatan kadar air berlangsung lambat, sedangkan pada Aw tinggi peningkatan kadar air berlangsung sangat cepat akibat pembentukan lapisan multilayer molekul air.

4.2.3 Penentuan Model Sorpsi Isotermis

Tabel 4.2.3.1 Persamaan Kurva ISA Tiap Model

Model	Persamaan
Hasley	$\log(\ln(1/aw)) = -0,0406 + 0,2805 \log Me$
Chen-Clayton	$\ln(\ln(1/aw)) = -0,0907 + 0,3654 \log Me$
Henderson	$\log(\ln(1/(1-aw))) = -0,0190 + 0,1317 \log Me$

Caurie	$\ln Me = -0,0222 + 0,2396 A_w$
Oswin	$\ln Me = -0,0296 + 0,2446 \ln(aw/(1-aw))$
GAB	$Me = 0,5744 aw / ((1 - 0,9481 aw)(1 + 13,8569 aw))$

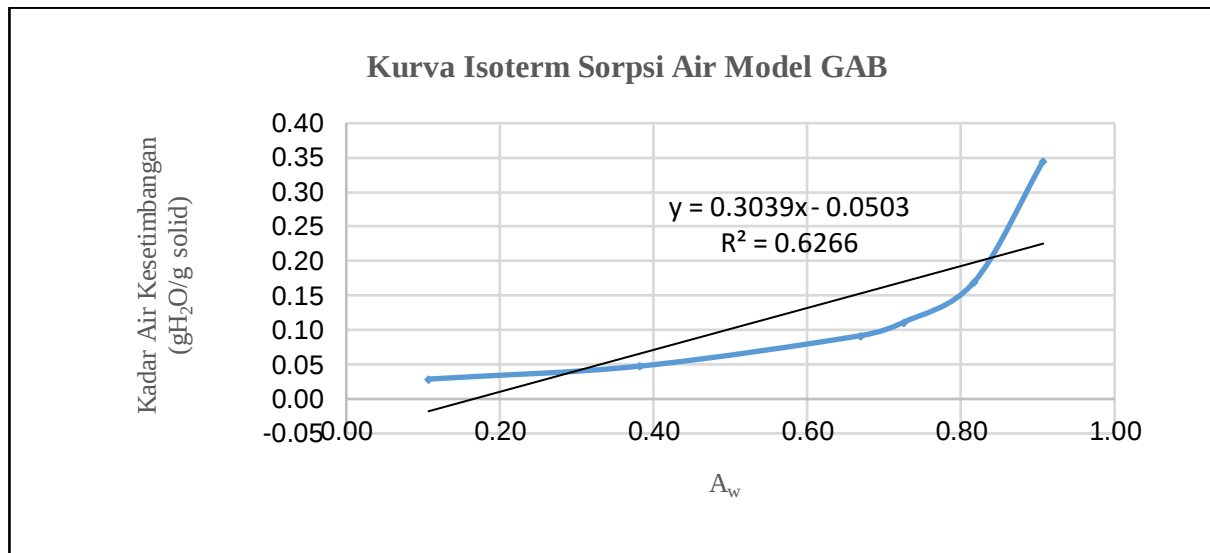
Enam model isotermis digunakan untuk memperoleh model matematis yang paling sesuai dalam menggambarkan hubungan aktivitas air dan kadar air kesetimbangan produk. Setiap model memiliki pendekatan matematis yang berbeda sehingga diperlukan evaluasi menggunakan nilai MRD.

Tabel 4.2.3.2 Nilai MRD Tiap Model

Model	%MRD
Hasley	7,86
Chen-Clayton	56,57
Henderson	67,46
Caurie	18,99
Oswin	16,05
GAB	5,45

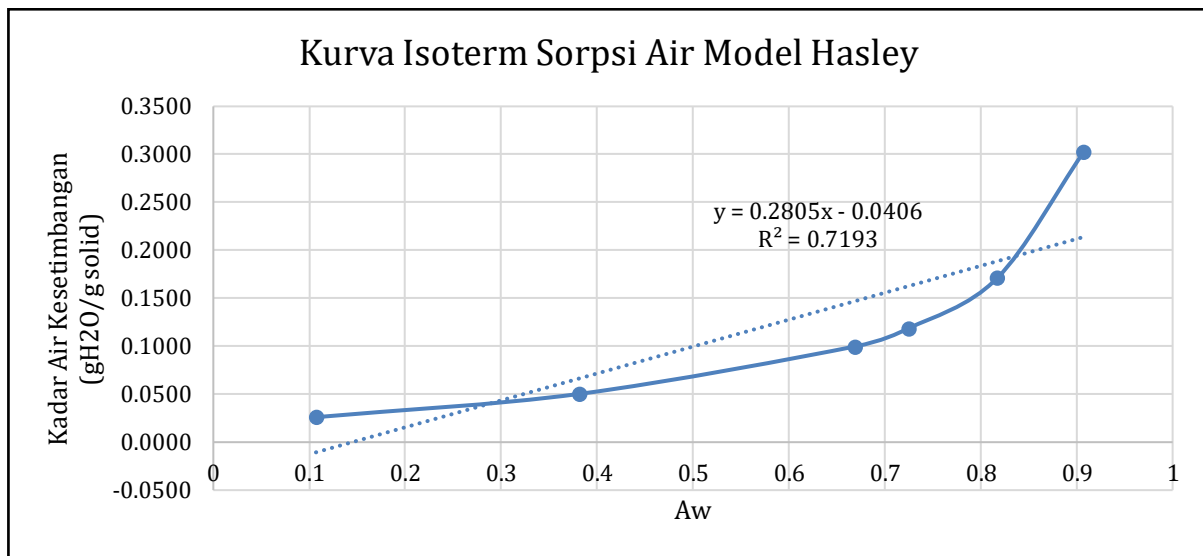
Model GAB menghasilkan nilai MRD terkecil (5,45) sehingga dipilih sebagai model terbaik dalam penelitian ini. Nilai tersebut menunjukkan bahwa prediksi model sangat mendekati data hasil percobaan dibandingkan model lainnya. Model Hasley juga masih dapat digunakan sebagai pembanding karena memiliki nilai MRD di bawah 10%.

Gambar 4.2.3.1 Kurva Isotermis Model GAB



Kurva model GAB menunjukkan peningkatan kadar air yang semakin tajam pada aktivitas air tinggi dengan slope sebesar **0,3039**, menggambarkan bahwa produk semakin mudah menyerap air ketika disimpan pada lingkungan dengan kelembapan tinggi.

Gambar 4.2.3.2 Kurva Isotermis Model Hasley



Model Hasley menghasilkan slope sebesar **0,2805**. Meskipun pola kurvanya serupa dengan model GAB, akurasi sedikit lebih rendah sehingga digunakan sebagai model pembandingan.

4.2.5 Pendugaan Umur Simpan Produk

Tabel 4.2.5.1 Perhitungan Umur Simpan Menggunakan Model GAB

Parameter	Nilai
Kadar air awal	0,0217
Kadar air kritis	0,0437
Slope	0,3039
Permeabilitas kemasan	0,0100
Me	0,1624
Berat kering	59,7175 g
Tekanan uap jenuh	31,8 mmHg
Luas kemasan	0,0218 m ²
Hari	443,07
Bulan	14,77
Tahun	1,23

Perhitungan menggunakan model GAB menghasilkan estimasi umur simpan 443 hari atau sekitar 14,77 bulan. Hasil ini menunjukkan bahwa produk memiliki stabilitas penyimpanan yang baik apabila disimpan pada suhu 30°C dan RH 70%.

Tabel 4.2.5.2 Perhitungan Umur Simpan Menggunakan Model Hasley

Parameter	Nilai
Kadar air awal	0,0217
Kadar air kritis	0,0437
Slope	0,2805

Permeabilitas kemasan	0,0100
Me	0,1557
Berat kering	59,7175 g
Tekanan uap jenuh	31,8 mmHg
Luas kemasan	0,0218 m ²
Hari	431,24
Bulan	14,37
Tahun	1,20

Pendugaan menggunakan model Hasley menghasilkan umur simpan sebesar 431 hari atau 14,37 bulan. Meskipun sedikit lebih rendah dibandingkan model GAB, perbedaannya relatif kecil. Berdasarkan nilai MRD yang lebih rendah, model GAB dipilih sebagai model yang paling representatif dalam menggambarkan perilaku sorpsi air produk biskuit berkrim dan direkomendasikan sebagai dasar penetapan umur simpan.

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menduga umur simpan biskuit berkrim menggunakan metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) berdasarkan pendekatan kadar air kritis dan pemodelan isotermis sorpsi air. Produk memiliki kadar air awal sebesar 0,0217 g H₂O/g padatan dan kadar air kritis sebesar 0,0437 g H₂O/g padatan, menunjukkan bahwa peningkatan kadar air yang relatif kecil telah mampu menurunkan mutu tekstur produk secara signifikan. Evaluasi enam model isotermis menunjukkan bahwa model Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB) memiliki akurasi terbaik dengan nilai MRD sebesar 5,45%, sehingga paling representatif dalam menggambarkan karakteristik sorpsi air biskuit berkrim. Berdasarkan model tersebut, umur simpan produk diperkirakan mencapai 443 hari atau sekitar 14,77 bulan pada kondisi penyimpanan 30°C dan kelembapan relatif 70%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan ASLT berbasis kadar air kritis yang dipadukan dengan model GAB merupakan metode yang akurat dan aplikatif untuk mendukung penetapan umur simpan serta pengembangan sistem pengendalian mutu produk pangan kering.

Daftar Pustaka

- [1] M. Goubgou, L. T. Songré-Ouattara, F. Bationo, H. Lingani-Sawadogo, Y. Traoré, and A. Savadogo, "Biscuits: a systematic review and meta-analysis of improving the nutritional quality and health benefits," *Food Prod. Process. Nutr.*, vol. 3, no. 1, 2021, doi: 10.1186/s43014-021-00071-z.
- [2] H. Herawati, "Penentuan umur simpan pada produk pangan," *J. Litbang Pertan.*, vol. 27, no. 4, pp. 124–130, 2008.
- [3] *et al.*, "Shelf-Life Prediction of Shallot Powder Using Accelerated Shelf-Life Testing (ASLT) Method by the Arrhenius Equation Approach," *Ind. J. Teknol. dan Manaj. Agroindustri*, vol. 11, no. 1, pp. 19–30, 2022, doi: 10.21776/ub.industria.2022.011.01.3.
- [4] A. Vega-Gálvez, J. López, M. Miranda, K. Di Scala, F. Yagnam, and E. Uribe, "Mathematical modelling of moisture sorption isotherms and determination of isosteric heat of blueberry variety O'Neil," *Int. J. Food Sci. Technol.*, vol. 44, no. 10, pp. 2033–2041, 2009, doi: 10.1111/j.1365-2621.2009.02027.x.
- [5] F. Kusnandar, D. R. Adawiyah, and M. Fitria, "Pendugaan umur simpan biskuit

dengan metode akselerasi berdasarkan pendekatan kadar air kritis," *J. Teknol. dan Ind. Pangan*, vol. 21, no. 2, pp. 1–6, 2010.

- [6] S. Edition, *Food Texture and Viscosity*. 2002. doi: 10.1016/b978-0-12-119062-0.x5000-1.