

DAFTAR PUSTAKA

- Akpinar, E. K., & Toraman, S. (2013). Estimation of the moisture diffusivity and activation energy in thin layer drying of ginger slices. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 7(6), 415–418.
- Alara, O. R., Abdurahman, N. H., & Olalere, O. A. (2019). Mathematical modelling and morphological properties of thin layer oven drying of *Vernonia amygdalina* leaves. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(3), 309–315. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.09.003>
- Bai, J.-W., Dai, Y., Wang, Y.-C., Cai, J.-R., Zhang, L., & Tian, X.-Y. (2022). Potato Slices Drying: Pretreatment Affects the Three-Dimensional Appearance and Quality Attributes. *Agriculture*, 12(11), 1841. <https://doi.org/10.3390/agriculture12111841>
- Borah, A., Hazarika, K., & Khayer, S. M. (2015). Drying kinetics of whole and sliced turmeric rhizomes (*Curcuma longa* L.) in a solar conduction dryer. *Information Processing in Agriculture*, 2(2), 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2015.06.002>
- Chong, C. H., Law, C. L., Cloke, M., Hii, C. L., Abdullah, L. C., & Daud, W. R. W. (2008). Drying kinetics and product quality of dried Chempedak. *Journal of Food Engineering*, 88(4), 522–527. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.03.013>
- Correa, D. A., Gallo-García, L. A., & González-Morelo, K. J. (2017). Determination of the Moisture and Oil Thermal Diffusivity Coefficients in Breadfruit (*Artocarpus altilis*) During Vacuum Frying. *International Journal of Engineering and Technology*, 9(6), 4012–4018. <https://doi.org/10.21817/ijet/2017/v9i6/170906022>
- Crank_1975_Diffusion_2.pdf*. (n.d.).
- Demirkol, E., Erdoğan, F., & Palazoğlu, T. K. (2006). Analysis of mass transfer parameters (changes in mass flux, diffusion coefficient and mass transfer coefficient) during baking of cookies. *Journal of Food Engineering*, 72(4), 364–371. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.12.016>
- Dincer, I., & Dost, S. (2007). An International Journal An Analytical Model for Moisture Diffusion in Solid Objects During Drying. *Drying Technology: An International Journal*, (July 2013), 37–41.
- Doymaz, I. (2007). The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 243–248. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.049>
- Harahap, A. S. (2015). Pengaruh Suhu Pengering, Kecepatan Udara Dan Ukuran Bahan Terhadap Laju Pengeringan Jahe Menggunakan Pengering Baki Skripsi. *Universitas Sumatera Utara*, 1(3), 82–91.
- Kim, S. H., Tanaka, F., & Tanaka, F. (2021). Drying kinetics and determination of effective moisture diffusivity and activation energy in cucumber pericarp tissues using thin-layer drying models. *Food Science and Technology Research*, 27(2), 181–192. <https://doi.org/10.3136/FSTR.27.181>

- Marchianti, A., Nurus Sakinah, E., & Diniyah, N. et al. (2017). Digital Repository Universitas Jember Digital Repository Universitas Jember. *Efektifitas Penyuluhan Gizi Pada Kelompok 1000 HPK Dalam Meningkatkan Pengetahuan Dan Sikap Kesadaran Gizi*, 3(3), 69–70.
- Maskan, M., & Gogus, F. (1998). Sorption isotherms and drying characteristics of Mulberry (*Morus alba*). *Journal of Food Engineering*, 37(4), 437–449. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(98\)00094-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00094-6)
- Miraei Ashtiani, S. H., Salarikia, A., & Golzarian, M. R. (2017). Analyzing drying characteristics and modeling of thin layers of peppermint leaves under hot-air and infrared treatments. *Information Processing in Agriculture*, 4(2), 128–139. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.03.001>
- Motevali, A., Abbaszadeh, A., Minaei, S., Khoshtaghaza, M. H., & Ghobadian, B. (2012). Effective Moisture diffusivity, activation energy and energy consumption in thin-layer drying of jujube (*Zizyphus jujube* Mill). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14(3), 523–532.
- Nurmuliana, E., Jamaluddin, J., & Mustarin, A. (2022). Model Matematika Lapisan Tipis Pengerinan Buah Mahkota Dewa (*Phaleria macrocarpa*). *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, 8(1), 57. <https://doi.org/10.26858/jptp.v8i1.21675>
- Onwude, D. I., Hashim, N., Janius, R. B., Nawi, N. M., & Abdan, K. (2016). Modeling the Thin-Layer Drying of Fruits and Vegetables: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(3), 599–618. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12196>
- Panchariya, P. C., Popovic, D., & Sharma, A. L. (2002). Thin-layer modelling of black tea drying process. *Journal of Food Engineering*, 52(4), 349–357. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00126-1](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00126-1)
- Pujimulyani, D., Raharjo, S., Marsono, Y., & Santoso, U. (2010). Pengaruh Blanching Terhadap aktivitas antioksidan, kadar fenol, flavonoid, dan tanin terkondensasi kunir putih. *AGRITECH, Vol. 30, No. 3, Agustus 2010*, 30(3), 141–147.
- Ratti, C., & Mujumdar, A. S. (2014). Infrared drying. *Handbook of Industrial Drying, Fourth Edition*, 405–420. <https://doi.org/10.1201/b17208>
- Sadaka, S., & Kalyankar, V. (2022). Determination of the Drying Kinetics Modeling and Activation Energy of Medium-Grain and Long-Grain Rough Rice under Isothermal Conditions. *Open Journal of Applied Sciences*, 12(05), 822–844. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2022.125056>
- Salari, K. (2011). *process*. 5(1), 96–103.
- Seremet, L., Botez, E., Nistor, O. V., Andronoiu, D. G., & Mocanu, G. D. (2016). Effect of different drying methods on moisture ratio and rehydration of pumpkin slices. *Food Chemistry*, 195, 104–109. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.125>
- Shi, Q., Zheng, Y., & Zhao, Y. (2013). Mathematical modeling on thin-layer heat pump drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) slices. *Energy Conversion and*

Management, 71, 208–216. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.03.032>

Syah, H., Tambunan, A. H., Hartulistiyoso, E., & Manalu, L. P. (2020). Thin Layer Drying Kinetics of *Guazuma Ulmifolia* Leaves. *Keteknikan Pertanian*, 8(2), 53–62. Retrieved from <https://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep/article/view/28558>

Uzman, D., & Şahbaz, F. (2000). Drying kinetics of hydrated and gelatinized corn starches in the presence of sucrose and sodium chloride. *Journal of Food Science*, 65(1), 115–122. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb15965.x>

Zlatanović, I., Komatina, M., and Antonijević, D. (2013). Low-temperature convective drying of apple cubes. *Appl. Therm. Eng.*, 53, 114–123.

Lampiran 3.1 . Rasio kelembaban (*Moisture Ratio*) pada suhu pengeringan 65°C

Kadar air kesetimbangan

A1	MR	B1	MR	C1	MR	D1	MR	E1	MR	F1	MR	G1	MR
79.69	1.00	76.07	1.00	73.04	1.00	75.99	1.00	73.72	1.00	75.13	1.00	73.49	1.00
72.10	0.89	68.33	0.89	65.09	0.87	70.18	0.91	67.61	0.90	69.97	0.93	67.24	0.90
66.01	0.81	62.37	0.80	59.62	0.79	64.20	0.82	63.21	0.83	65.47	0.87	61.70	0.81
62.54	0.76	57.21	0.72	50.66	0.64	57.84	0.73	59.35	0.77	60.81	0.81	57.09	0.74
56.69	0.68	52.23	0.65	46.83	0.58	53.09	0.66	55.83	0.71	57.74	0.77	52.78	0.67
50.93	0.60	46.69	0.57	42.79	0.52	47.99	0.58	50.73	0.63	52.30	0.70	48.52	0.61
47.09	0.55	38.18	0.44	38.93	0.46	43.19	0.51	47.74	0.58	49.18	0.65	44.53	0.54
31.17	0.32	33.15	0.37	34.86	0.39	38.78	0.44	41.32	0.48	46.26	0.62	40.47	0.48
26.93	0.27	28.64	0.30	31.26	0.33	34.82	0.38	38.06	0.43	43.63	0.58	36.77	0.42
20.49	0.18	24.68	0.24	27.89	0.28	28.00	0.28	35.00	0.38	40.95	0.55	33.10	0.36
13.82	0.08	21.37	0.19	21.03	0.17	24.48	0.22	32.59	0.34	37.79	0.50	29.59	0.31
10.00	0.03	18.04	0.14	17.42	0.11	21.59	0.18	29.74	0.30	35.59	0.47	21.83	0.19
9.07	0.02	15.24	0.10	14.81	0.07	18.90	0.14	28.13	0.27	33.41	0.44	17.97	0.13
8.99	0.02	12.65	0.06	12.91	0.04	16.76	0.11	26.27	0.24	31.73	0.42	15.15	0.08
8.41	0.01	10.74	0.04	11.19	0.01	14.83	0.08	24.38	0.21	29.84	0.40	12.08	0.03
8.07	0.00	8.15	0.00	10.26	0.00	13.43	0.06	22.55	0.18	27.97	0.37		
7.90	0.00					12.05	0.04	21.00	0.16	26.05	0.35		
7.75	0.00					11.07	0.02	19.47	0.13	24.21	0.32		
7.69	0.00					10.45	0.01	18.02	0.11	22.85	0.30		
						10.02	0.01	16.66	0.09	21.46	0.29		
						9.32	0.00	15.42	0.07	20.59	0.27		
								15.39	0.07	18.42	0.25		
								15.32	0.07	16.88	0.22		
								13.46	0.04	16.81	0.22		
								13.24	0.03	14.28	0.19		
								13.02	0.03	14.06	0.19		
								12.80	0.03	13.84	0.18		
										13.62	0.18		
										13.39	0.18		
										13.17	0.18		
										12.94	0.17		
										12.72	0.17		

Lampiran 3.2 . Rasio kelembaban pada suhu pengeringan 55°C

Kadar air kesetimbangan

A2	MR	B2	MR	C2	MR	D2	MR	E2	MR	F2	MR	G2	MR
73.18	1.00	75.22	1.00	70.61	1.00	72.40	1.00	74.07	1.00	75.28	1.00	73.56	1.00
67.39	0.91	70.14	0.92	64.01	0.89	66.80	0.91	68.71	0.91	71.26	0.94	69.34	0.93
61.98	0.82	65.42	0.85	59.26	0.81	61.15	0.82	65.00	0.85	68.32	0.89	64.88	0.86
57.44	0.75	61.43	0.79	55.14	0.74	56.62	0.74	62.15	0.81	65.42	0.84	59.88	0.78
53.48	0.69	55.90	0.71	51.51	0.68	51.89	0.67	59.42	0.76	62.92	0.80	56.33	0.73
49.63	0.63	52.66	0.66	48.27	0.62	48.27	0.61	56.96	0.72	59.81	0.75	52.94	0.67
46.08	0.58	49.77	0.62	44.97	0.57	45.07	0.56	54.72	0.69	55.26	0.68	49.79	0.62
42.77	0.52	46.83	0.57	42.24	0.52	41.72	0.50	46.22	0.55	49.17	0.58	46.92	0.58
34.29	0.39	44.41	0.53	39.51	0.48	38.81	0.45	43.47	0.51	46.08	0.53	43.95	0.53
30.00	0.33	41.95	0.50	36.80	0.43	35.98	0.41	41.05	0.47	43.92	0.50	41.26	0.49
20.26	0.17	39.61	0.46	34.13	0.39	33.14	0.36	39.18	0.44	42.00	0.47	38.57	0.44
18.01	0.14	37.36	0.43	31.38	0.34	30.74	0.32	37.26	0.41	40.30	0.44	33.82	0.37
15.88	0.10	35.22	0.40	28.81	0.30	28.48	0.29	35.44	0.38	38.61	0.42	30.82	0.32
14.27	0.08	33.13	0.36	26.53	0.26	26.31	0.25	33.83	0.35	36.97	0.39	28.14	0.28
13.75	0.07	31.09	0.33	24.34	0.22	24.53	0.22	30.20	0.29	33.39	0.33	25.95	0.24
12.19	0.05	23.22	0.21	22.08	0.18	22.65	0.19	28.09	0.26	31.25	0.30	23.93	0.21
11.10	0.03	20.10	0.17	20.39	0.15	21.17	0.17	26.63	0.23	29.79	0.28	21.93	0.18
10.64	0.02	17.71	0.13	18.45	0.12	18.10	0.12	25.28	0.21	28.49	0.25	16.01	0.09
10.38	0.02	15.81	0.10	16.93	0.10	16.53	0.09	24.07	0.19	27.23	0.23	13.61	0.05
10.28	0.02	12.46	0.05	13.91	0.05	15.35	0.07	22.71	0.17	25.77	0.21	12.13	0.03
10.16	0.02	11.23	0.03	12.47	0.02	14.46	0.06	19.99	0.13	22.90	0.17	10.85	0.01
10.05	0.01	10.34	0.02	11.45	0.00	13.65	0.05	18.81	0.11	21.63	0.15		
9.60	0.01	9.73	0.01			13.05	0.04	17.90	0.09	20.53	0.13		
9.23	0.00	9.44	0.01			12.39	0.02	16.94	0.08	19.53	0.11		
9.04	0.00	9.00	0.00			11.94	0.02	16.18	0.07	18.71	0.10		
		8.75	0.00			11.58	0.01	15.59	0.06	17.84	0.09		
						11.20	0.01	15.15	0.05	17.46	0.08		
						11.00	0.00	15.12	0.05	14.28	0.03		
								13.91	0.03	14.08	0.03		
								13.72	0.03	13.88	0.02		
								13.52	0.02	13.67	0.02		
								13.32	0.02	13.46	0.02		
								13.12	0.02	13.26	0.01		
								12.92	0.01	13.05	0.01		
								12.72	0.01	12.84	0.01		

BAB IV

MODEL SORPSI ISOTERMIS AIR PADA PENGERINGAN SUKUN

ABSTRAK

Pola penyerapan uap air sukun dapat diprediksi melalui kurva Isoterm Sorpsi Air (ISA) untuk mendeteksi sifat bahan pada kondisi aktivitas air (a_w) dan kadar kesetimbangan (M_e) pada berbagai suhu penyimpanan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk observasi model karakteristik sorpsi selama penyimpanan melalui hubungan antara a_w dan kadar air kesetimbangan (M_e) selama penyimpanan menggunakan kombinasi perlakuan awal bahan (blanching dan non blanching), suhu blanching (40, 60 dan 80°C) dan lama blanching (15 dan 30 menit) pada pengeringan suhu 65°C.

Penelitian ini telah menghasilkan model eksperimen ISA dan model fit untuk memprediksi model eksperimen dengan E , a_w dan RMSE yang rendah dan tingkat kepercayaan yang tinggi. Model eksperimen pada semua perlakuan suhu dan lama blanching, baik pada penyimpanan 30°C maupun 40°C umumnya berbentuk sigmoid (tipe II). Penyesuaian model eksperimen dilakukan menggunakan model fit, yaitu BET, GAB, Oswin, Halsey, Henderson dan Caurie, dengan kriteria $E < 10\%$, e_{ave} dan RMSE paling rendah serta dan R^2 yang tinggi.

Berdasarkan hasil seleksi lanjut model menggunakan kriteria error ($E \leq 10\%$) dan tingkat kepercayaan $R^2 > 0,85$, maka untuk suhu penyimpanan 30°C, perlakuan dan model yang dapat diprediksi masing-masing adalah: blanching 40°C selama 30 menit dengan model Caurie ($E=7,593\%$ dan $R^2=0,9725$); 60°C selama 15 menit dengan model Halsey ($E=9,549\%$ dan $R^2=0,9261$) 80°C selama 30 menit dengan model Gab ($E=0,559\%$ dan $R^2=0,9998$); dan kontrol (tanpa blanching) dengan model Oswin ($E=3,405\%$ dan $R^2=0,9998$). Sementara untuk penyimpanan 40°C, perlakuan dan model yang dapat diprediksi masing-masing adalah: blanching 40°C selama 15 menit dengan model Gab ($E=8,391\%$ dan $R^2=0,8736$); 40°C selama 30 menit dengan model Gab ($E=2,130\%$ dan $R^2=0,9928$); 80°C selama 15 menit dengan model Gab ($E=2,130\%$ dan $R^2=0,9928$); dan kontrol (tanpa blanching) dengan model Oswin ($E=2,830\%$ dan $R^2=0,9553$). Model yang terseleksi merupakan model yang paling sesuai untuk memprediksi profil isotherm sorpsi air chips sukun pada rentang a_w 0,18-0,82 pada suhu penyimpanan 30-40°C.

Kata kunci: *Aktivitas air, Isothermis sorpsi air, Chips sukun dan Kadar air kesetimbangan*

4. 1. PENDAHULUAN

Keadaan air memainkan peran penting dalam pengawetan bahan pangan. Kualitas bahan pangan yang diawetkan tergantung pada kadar air, migrasi kelembaban, atau penyerapan air oleh bahan pangan selama penyimpanan. Tingkat penyerapan air dari produk pangan tergantung pada tekanan uap air yang ada dalam bahan dan lingkungan sekitarnya.

Kualitas sebagian besar makanan yang diawetkan dengan pengeringan misalnya sukun sangat bergantung pada stabilitas fisik, kimia, dan mikrobiologisnya. Stabilitas ini terutama merupakan konsekuensi dari hubungan antara kadar air kesetimbangan (EMC) bahan pangan dan aktivitas air (a_w), pada suhu tertentu. Pemahaman tentang ISA ini juga penting dalam mendesain dan menghitung optimalisasi peralatan pengeringan serta untuk menghitung perubahan kelembaban yang mungkin terjadi selama penyimpanan. Stabilitas produk dapat ditentukan oleh dua faktor utama, yaitu kelembaban relatif kesetimbangan (RH) atau aktivitas air (a_w) tempat penyimpanan dan kadar air kesetimbangan bahan pangan (M_e) (Widowati *et al.*, 2010)

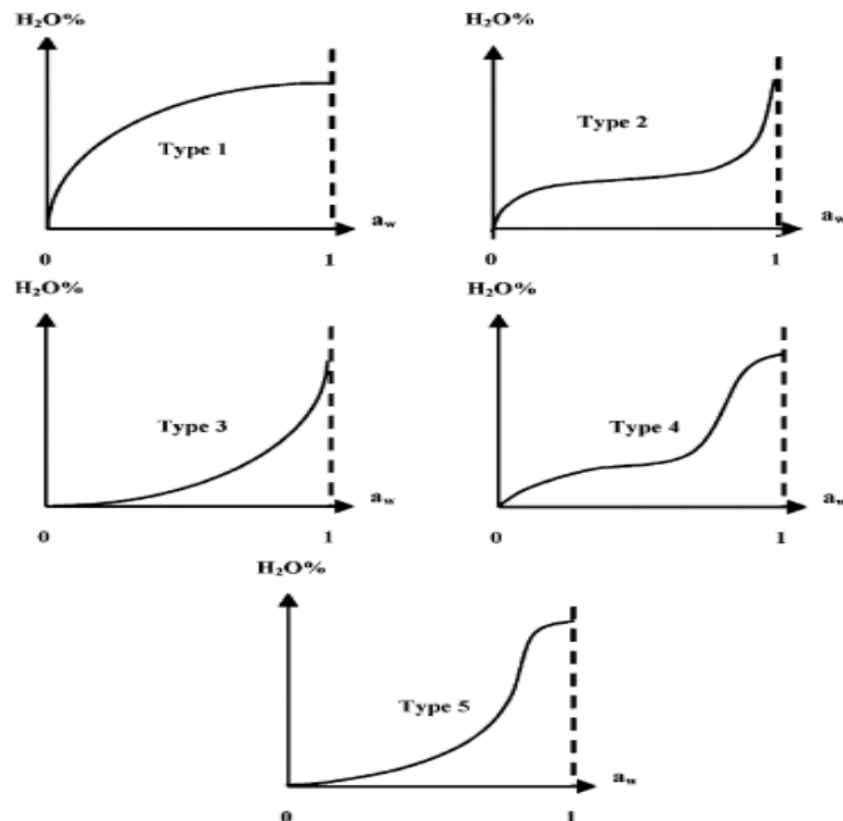
Kandungan kelembaban di mana tekanan uap air yang ada dalam makanan sama dengan lingkungan disebut sebagai kadar air kesetimbangan (Equilibrium Moisture Content atau EMC). Hubungan antara EMC dan kelembaban relatif pada suhu konstan yang disebut isotherm sorpsi air. Nilai kadar air kesetimbangan meningkat seiring dengan meningkatnya kelembaban relatif tetapi berkurang dengan kenaikan suhu. Aktivitas air biasanya digunakan untuk mengkarakterisasi kualitas bahan pangan dan didefinisikan sebagai

$$a_w = \frac{P}{P_0} = \frac{ERH}{100} \dots\dots\dots 4.1$$

di mana P adalah tekanan uap air dalam bahan pangan pada setiap suhu tertentu (Pa), P_0 adalah tekanan uap air murni pada suhu tersebut (Pa), a_w adalah aktivitas air (tidak berdimensi), dan ERH adalah kesetimbangan relatif kelembaban (%).

Ada lima jenis isotherm dijelaskan oleh Brunauer *et al.*, 1940 (gambar 4.1) yakni Tipe 1 adalah isotherm Langmuir menggambarkan karakteristik dari peningkatan aktivitas air terikat dengan peningkatan kadar air. Tipe ini umumnya berlaku pada lapisan *monolayer* dan permukaan internal bahan. Tipe 2 adalah isotherm sigmoid

menggambarkan adsorpsi untuk produk terlarut, berdasarkan tren asimtotik dari aktivitas air atau merupakan isotherm sorpsi sigmoidal yang memiliki kurva cekung ke atas. Tipe 3, yang dikenal sebagai isotherm Flory-Higgins,, tipe ini dapat mewakili bahan kristal seperti sukrosa, gliserol dan suhu transisi gelas. Tipe 4 menggambarkan adsorpsi oleh padatan hidrofilik yang dapat mengembang sampai batas maksimal hidrasi. Tipe 5 adalah BET (*Brunauer-Emmett-Teller*) isotherm adsorpsi multilayer, diamati untuk adsorpsi uap air pada arang. Dua isotherm yang paling umum ditemukan dalam produk pangan adalah tipe 2 dan 4.



Gambar 4.1. Tipe Isotherm Sorpsi Air oleh Brunauer (Mathlouthi & Rogé, 2003)

Pengetahuan tentang isothermis sorpsi air bahan pangan sangat diperlukan untuk menentukan kualitas, stabilitas dan umur simpan dari bahan pangan (Labuza, 1984). Isothermis sorpsi air menjelaskan tentang hubungan antara kadar air bahan dengan kelembaban relatif (RH) kesetimbangan pada suhu tertentu. Kurva ini

menggambarkan sifat-sifat hidrasi bahan pangan, yaitu kemampuan bahan pangan secara alami dapat menyerap air dari udara di sekelilingnya dan sebaliknya dapat melepaskan sebagian air ke udara (Yusa, 2014)

Isotermis sorpsi air adalah kurva yang menghubungkan data kesetimbangan kadar air dengan aktivitas air suatu bahan pada suhu yang sama (Adawiyah *et al.*, 2010). Kurva *isotermis sorpsi air* (ISA) merupakan hal yang sangat penting untuk merancang proses pengeringan utamanya menentukan titik akhir pengeringan. Selain itu isotermis sorpsi air dapat mengindikasikan nilai aktivitas air pada komposisinya, kurva ini juga memiliki hubungan yang erat dengan stabilitas bahan pangan pada berbagai kondisi penyimpanan serta kebutuhan proses pengemasan produk pangan untuk menjaga kestabilan masa simpannya (Budijanto *et al.*, 2010). Sorpsi isotermis air dapat ditunjukkan dalam bentuk kurva isotherm sorpsi yang khas pada setiap bahan pangan. Sorpsi isotermis mampu memprediksi efek komponen penyusun bahan pangan terhadap penurunan atau peningkatan nilai a_w . Sorpsi isotermis ini secara umum dilambangkan oleh suatu persamaan/model matematis.

Penentuan isotermis sorpsi air secara eksperimental selalu dikaitkan dengan penggunaan model matematis untuk mengkorelasikan data-data yang didapat. Menurut literatur, lebih dari 200 model persamaan telah berhasil dikembangkan untuk mendeskripsikan isotermis sorpsi air suatu bahan (Van den Berg and Bruin, 1981; Fitri, 2018).

Banyak model matematika sering digunakan untuk menggambarkan proses pengeringan dimana model pengeringan lapisan tipis adalah model yang paling umum. Menurut Al-Muhtaseb 2002; Ruth *et al.*, 2020, model matematika yang menggambarkan mekanisme pengeringan bahan pangan juga dapat memberikan informasi suhu dan kadar air yang dibutuhkan.

Model persamaan yang paling umum digunakan untuk menggambarkan penyerapan/sorpsi pada bahan pangan antara lain persamaan atau model Langmuir, model BET (Brunauer-Emmett-Teller), model Oswin, model Smith, model Halsey, model Henderson, model GAB (Guggenheim-Anderson-deBoer), dan model Peleg. Sahin *et al.*, 2006; Ruth *et al.*, 2020).

Pengukuran dan pemodelan isotherm sorpsi bahan pangan telah menarik banyak peneliti karena pengukuran dan model tersebut dapat diaplikasikan pada bidang

industri. Berkaitan dengan penjelasan diatas, dalam penelitian akan dilakukan untuk observasi model karakteristik sorpsi selama penyimpanan melalui hubungan antara a_w dan kadar air kesetimbangan (M_e) selama penyimpanan menggunakan kombinasi perlakuan awal bahan (blanching dan non blanching), suhu blanching (40, 60 dan 80°C) dan lama blanching (15 dan 30 menit) dan pengeringan suhu 65°C.

4.2. BAHAN DAN METODE

4.2.1 Alat dan bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain desikator, timbangan/neraca analitik, wadah rang berbentuk segiempat dari aluminium , oven dan gelas ukur. Bahan yang digunakan antara lain chip sukun kering dari dua perlakuan sebelumnya yakni dengan perlakuan blanching dan non blanching serta 5 jenis garam jenuh yaitu : NaOH, MgCl₂, K₂CO₃ , NaCl dan KCL.

4.2.2 Prosedur Penelitian

4.2.2.1 . Penentuan Kadar Air Kesetimbangan

Penentuan kurva sorpsi pada penelitian ini menggunakan metode gravimetri statis yaitu menggunakan larutan garam jenuh untuk membuat RH atau aktivitas air (a_w) perbaiki tertentu. Lima jenis larutan garam jenuh yakni NaOH, MgCl₂, K₂CO₃, NaCL dan KCL disiapkan untuk mendapatkan rentang RH kesetimbangan atau aktivitas air yang cukup lebar yaitu 18, 32,46,75 dan 82 atau dari rentang 0,18 sampai 0,82 . Larutan garam jenuh untuk kelembaban yang dibutuhkan dilakukan dengan melarutkan sejumlah garam tertentu dalam akuades hingga jenuh atau hingga terbentuk endapan kristal-kristal garam di dalam larutan.

Endapan kristal tersebut merupakan indikasi bahwa larutan garam tersebut sudah lewat jenuh. Sebelum digunakan larutan garam jenuh diinkubasi terlebih dahulu selama 24 jam dalam desikator pada suhu 30±2°C. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut: Lima buah toples (desikator) yang terbuat dari gelas kaca (glass jar) digunakan sebagai wadah untuk masing-masing larutan garam jenuh, dimana masing masing toples tersebut dilengkapi dengan plat berlubang. Plat tersebut digunakan sebagai alas untuk memisahkan antara larutan garam jenuh dan sampel penelitian, sehingga tidak terjadi kontak langsung.

Sampel penelitian berupa chips sukun yang telah melalui perlakuan blanching dan non blanching dengan variasi suhu dan lama blanching, disiapkan dalam wadah aluminium yang telah diketahui beratnya kemudian dimasukkan ke dalam masing masing desikator yang telah berisi garam jenuh. Chips sukun kering dengan ukuran $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$ ditempatkan diatas wadah lubang-lubang segiempat aluminium kemudian dimasukkan kedalam desikator yang telah berisi larutan garam jenuh sesuai tingkat aktivitas air yang diinginkan pada suhu ruang $30 \pm 2^\circ\text{C}$, $40 \pm 2^\circ\text{C}$. Sampel ditimbang secara periodik tiap minggu menggunakan neraca digital hingga mencapai bobot yang seimbang. Bobot yang seimbang ditandai dengan selisih tiga kali penimbangan berturut-turut $\leq 2 \text{ mg}$ untuk kondisi RH ≤ 90 dan tidak lebih dari 10 mg untuk kondisi RH 90 (Liovonon dan Ross, 2000 ; Adawiyah, 2006; Mona fitria, 2007) .

Sampel yang telah mencapai berat konstan kemudian diukur kadar airnya dengan metode oven (Sudarmadji et al., 1997; Ritonga & Masrukhi, 2020) pada suhu 105°C selama 72 jam. Kadar air yang diperoleh merupakan kadar air kesetimbangan. Pelaksanaan penelitian dilakukan sebanyak dua kali ulangan. Aktivitas air (a_w) beberapa larutan garam jenuh pada suhu 30°C disajikan pada Tabel berikut :

Tabel 4.1. Preparasi larutan garam jenuh untuk penetapan a_w dalam Kurva *Isoterm Sorpsi Air* (ISA)

Jenis Garam	Aw	Jumlah	
		Garam (g)	Aquades (ml)
NaOH	0.18	150	85
MgCL2	0.32	200	25
K2CO3	0.46	299	90
NaCl	0.75	200	60
KCL	0.82	200	80

Sumber: (Spiess and Wolf, 1987; Sugiyono, *et al.*2012)

4.2.2.2 Penentuan Kurva dan Model Persamaan Moisture Sorpsi Isotermis

Delapan model persamaan, yaitu persamaan BET, GAB, Oswin, Halsey, Henderson dan Caurie diuji ketepatannya dengan model hasil eksperimen. Model yang diujicobakan dimodifikasi menjadi persamaan linier dengan transformasi logaritma dan logaritma normal agar memudahkan dalam proses perhitungan.

Delapan model yang diujicobakan ini, berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu, dimana persamaan tersebut dapat menggambarkan kurva sorpsi isotermis pada jangkauan nilai aktivitas air (a_w) yang luas (Chirife dan Iglesias, 1978; Mona Fitria, 2007). Selain itu, model persamaan di atas memiliki parameter kurang atau sama dengan empat, sehingga lebih sederhana dan mudah diselesaikan.

4.2.2.3 Uji Ketepatan Model

Untuk menguji ketepatan persamaan sorpsi isotermis dilakukan dengan menggunakan perhitungan *Mean Relative Determination* (MRD) (Walpole, 1990; Ritonga & Masrukhi, 2020). Analisis ketepatan antara model matematika dengan data eksperimen mengacu pada nilai persentase simpangan rata-rata relatif (MRD atau E%), nilai simpangan rata-rata (e_{ave}) dan nilai akar kuadrat simpangan rata-rata (RMSE) rendah (Lomauro *et al.*, 1985; Crude, 2016). Jika $5 < E\% < 10$, maka model tersebut agak tepat menggambarkan keadaan yang sebenarnya, dan jika E% (MRD) > 10 maka model tidak tepat untuk menggambarkan kondisi yang sebenarnya (Juliana *et al.*, 2020).

Kriteria kesesuaian model dapat ditentukan dengan mengukur nilai E(%), e_{ave} , dan RMSE menggunakan persamaan berikut:

$$E(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{M_i - M_{pi}}{M_i} \right| \dots\dots\dots 4.2$$

$$e_{ave} = \left(\frac{M_i - M_{pi}}{n} \right) \dots\dots\dots 4.3$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n (M_i - M_{pi})^2 \right]} \dots\dots\dots 4.4$$

Dengan n = jumlah data percobaan, m_i adalah data percobaan pengukuran sorpsi isotermis, M_{pi} adalah data prediksi menggunakan model. Model dikatakan tepat/baik jika nilai $E < 10\%$ (McLaughlin and Magee, 1998; Adawiyah *et al.*, 2010. Pendapat lain mengatakan bahwa pemodelan mempunyai ketepatan yang baik jika nilai MRSE lebih kecil dari 10% (McLaughlin and Magee, 1998; Azizah, 2017. Nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) menunjukkan kemampuan pencocokan suatu model berkaitan dengan jumlah titik data.

Tabel 4.2. Uji ketepatan model

Model	Persamaan	sumber
BET	$M_e = \frac{M_0 \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w)(1 + C \cdot a_w - a_w)}$	Sahin and Sumnu, 2006; Aini <i>et al.</i> , 2014
GAB	$M_e = \frac{m_0 k C a_w}{[1 - k a_w][1 - k a_w + 1 - C k a_w]}$	Labuza dan Altunakar, 2007; Sahin and Sumnu, 2006; Aini <i>et al.</i> , 2014
Oswin	$\ln M_e = \ln k + c \cdot \ln[a_w/(1 - a_w)]$	Oswin, 1946; Sahin and Sumnu, 2006; Sugiyono <i>et al.</i> , 2011
Caurie	$M_e = \exp(A + B a_w)$	Caurie, 1970; Daulay 2000; Mabrouk <i>et al.</i> , 2015
Halsey	$a_w = \exp[(-P_1/M_e)P(2)]$	Daulay 2000; Sugiyono <i>et al.</i> , 2011
Henderson	$\begin{aligned} \log[\ln(1/1 - a_w)] &= \\ &= \log K + n \log M_e \end{aligned}$	Chirife dan Iglesias, 1978; Van den Berg dan Bruin, 1981; Molenaar <i>et al.</i> , 2014

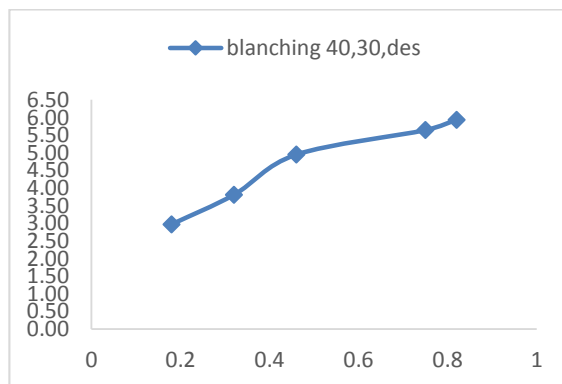
4.3. Hasil dan Pembahasan

Ekperimen penyimpanan chip sukun pada variasi suhu 30°C dan 40°C dari berbagai kombinasi parameter perlakuan awal (blanching dan non blanching), suhu blanching (40, 60 dan 80°C) dan lama blanching (15 dan 30 menit) telah menghasilkan model eksperimen (empiris) sorpsi isotherm berdasarkan pengamatan kadar air kesetimbangan (M_e) dari berbagai tingkat aktivitas air (a_w) dari 0,1 - 0,8. Penentuan

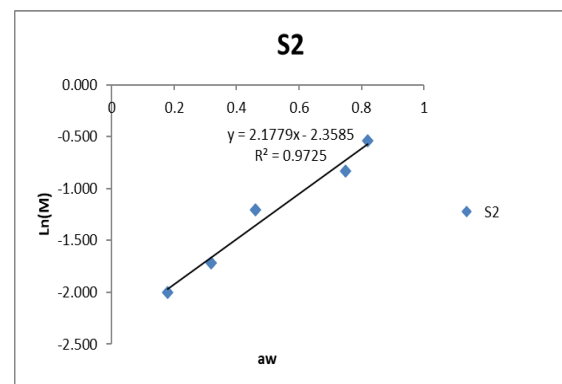
kurva isotherm sorpsi dilakukan dengan menghubungkan data kadar air kesetimbangan (M_e) dengan data aktifitas air (a_w).

Hubungan antara aktifitas air (a_w) dengan kadar air kesetimbangan dikenal dengan istilah kurva *sorpsi isotherm air* (ISA). Model *sorpsi isotherm air* dibuat dari data hasil eksperimen dari perlakuan A_w dan data M_e pada berbagai perlakuan suhu dan lama blanching. Masing-masing model ISA dibuat berdasarkan data perlakuan suhu penyimpanan, yaitu penyimpanan 30°C dan 40°C (Lampiran 4.1 dan 4.2).

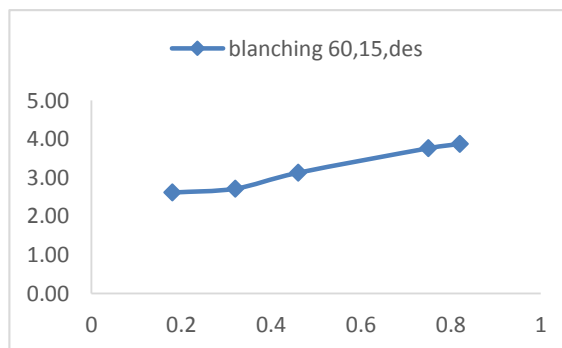
Data yang diperoleh dilakukan plotting untuk mendapatkan model ISA berdasarkan eksperimen, yaitu 7 model ISA masing-masing untuk penyimpanan 30°C dan 40°C (Lampiran 4.3 dan 4.4). Data eksperimen dimasukkan dalam 6 model fit, yaitu BET, GAB, Oswin, Caurie, Hasley, dan Henderson (Lampiran 4.5 dan 4.6). Hasil fitting model selanjutnya diseleksi untuk mendapatkan nilai E , e_{ave} , dan RMSE terkecil dan R_{-sq} terbesar. Fitting model terpilih lebih mendekati model empiris untuk memprediksi mekanisme *isotherm-sorpsi air* pada suhu penyimpanan sukun 30°C dan 40°C (Gambar 4.1 dan 4.2).



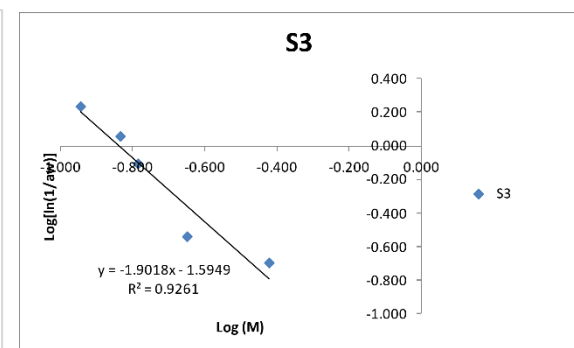
1. a Model Eksperimen S2-P30
(Blanching 40°C Selama 15 menit)



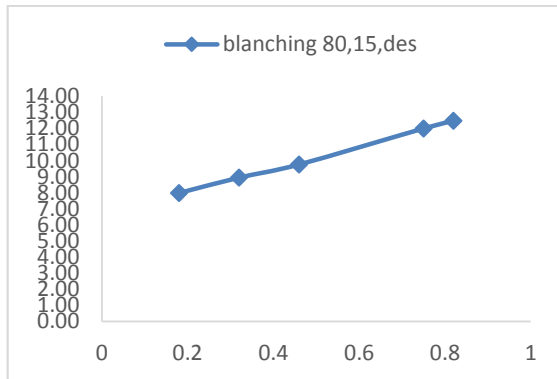
1. b. Model Fit Caurie S2-P30
(Blanching 40°C Selama 15 menit)



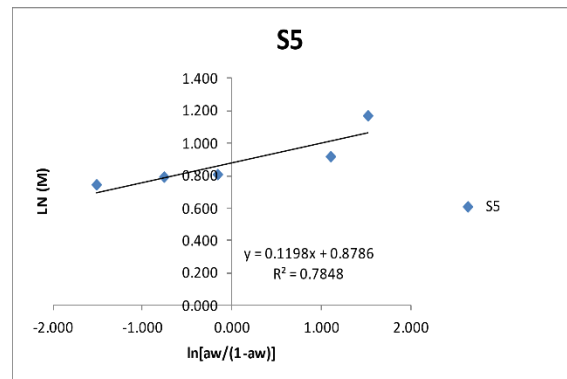
2. a Model Eksperimen S3-P30
(Blanching 60°C Selama 15 menit)



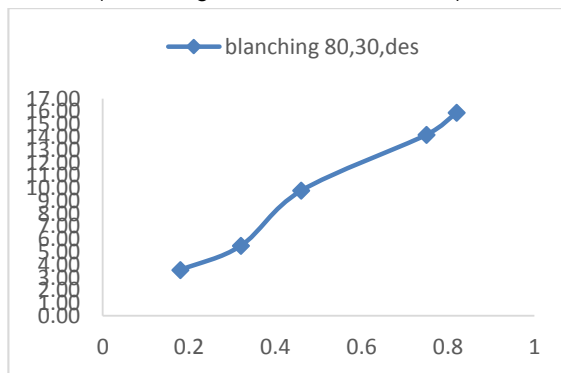
2. b Model Fit Halsey S3-P30
(Blanching 60°C Selama 15 menit)



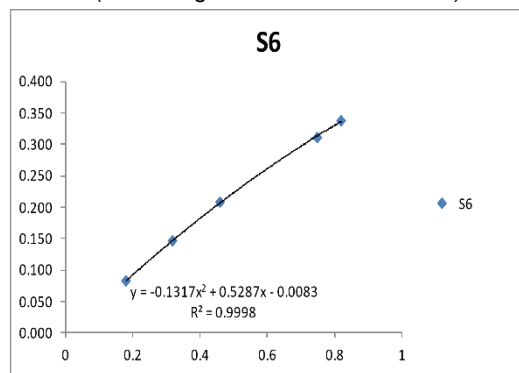
3. a Model Eksperimen S5-P30
(Blanching 80°C Selama 15 menit)



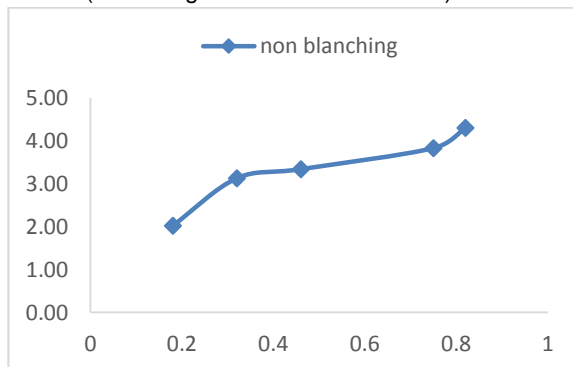
3. b Model Fit Oswin S5-P30
(Blanching 80°C Selama 15 menit)



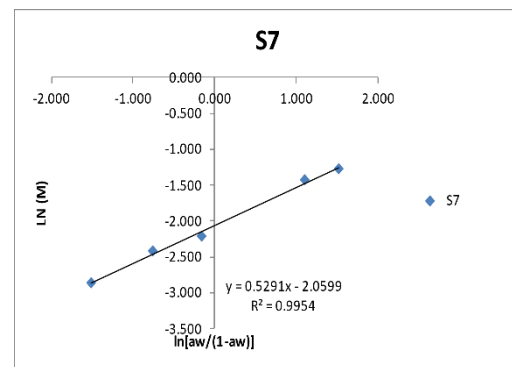
4. a Model Eksperimen S6-P30
(Blanching 80°C Selama 30 menit)



4. a Model Fit Gab S6-P30
(Blanching 80°C Selama 30 menit)

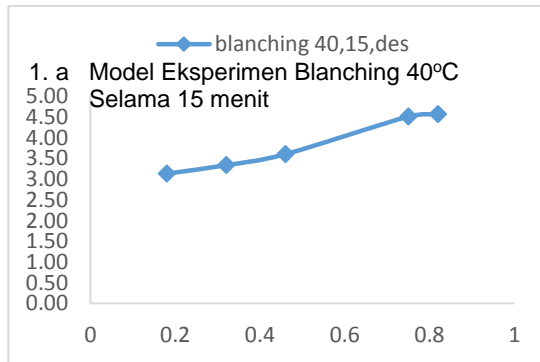


5. a Model Eksperimen S7-P30
(Tanpa Blanching/Kontrol)

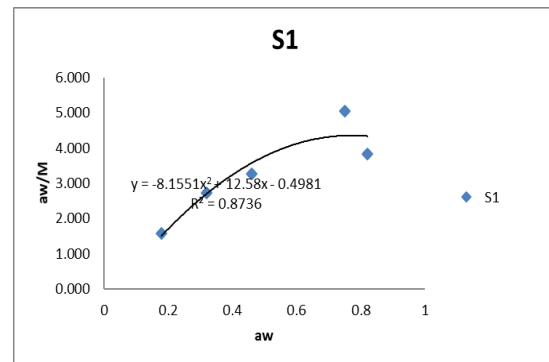


5. b Model Fit Oswin S7-P30
(Tanpa Blanching/Kontrol)

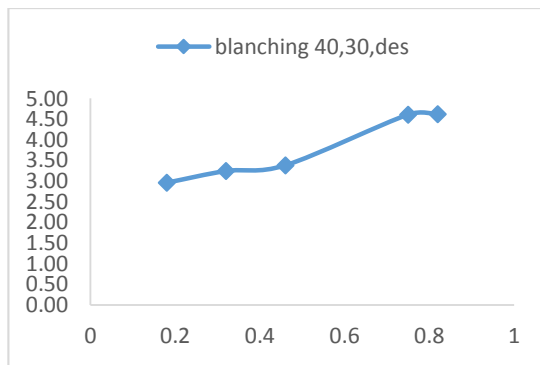
Gambar 4.1. Grafik kesesuaian model *isotherm sorption air* (ISA) pada penyimpanan chips sukun suhu 30°C dari berbagai kombinasi perlakuan awal suhu dan lama blanching (Kondisi pengeringan 65°C).



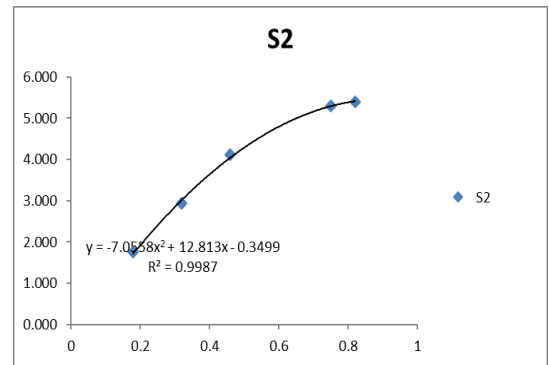
1. a Model Eksperimen S1-P40
(Blanching 40°C Selama 15 menit)



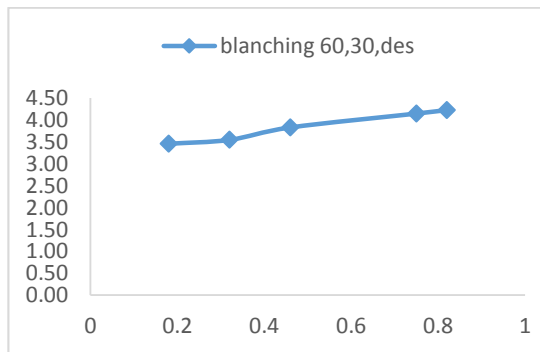
1. b Model Fit Gab Blanching S1-P40
(Blanching 40°C Selama 15 menit)



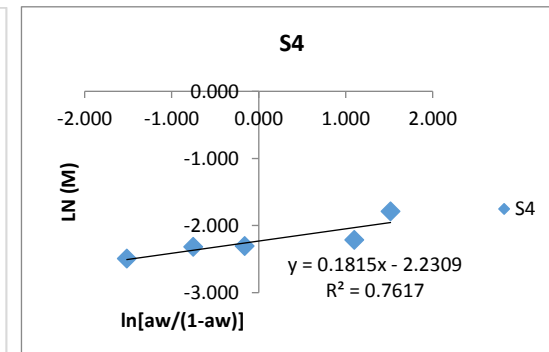
2. a Model Eksperimen S2-P40
(Blanching 40°C Selama 30 menit)



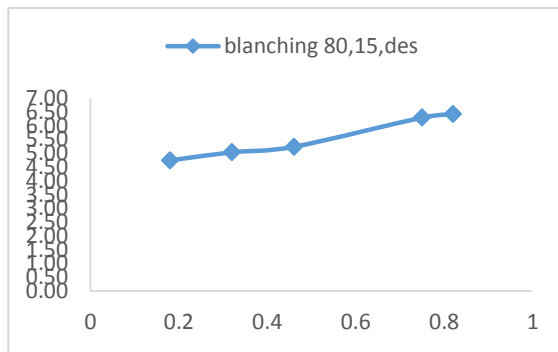
2. b Model Fit Gab S2-P40
(Blanching 40°C Selama 30 menit)



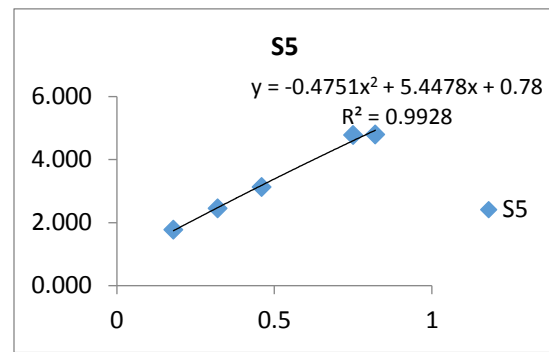
3. a Model Eksperimen S4-P40
(Blanching 60°C Selama 30 menit)



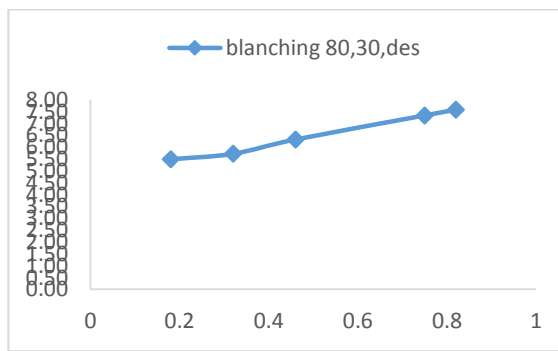
3. b Model Fit Oswin S4-P40
(Blanching 60°C Selama 30 menit)



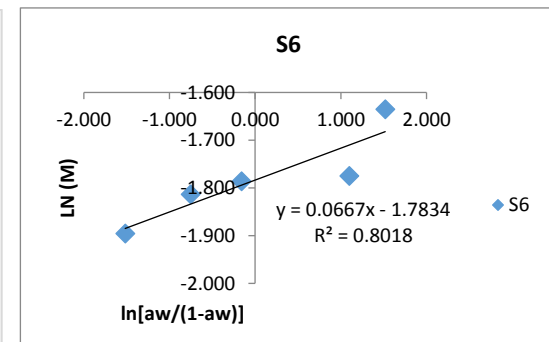
4. a Model Eksperimen S5-P40
(Blanching 80°C Selama 15 menit)



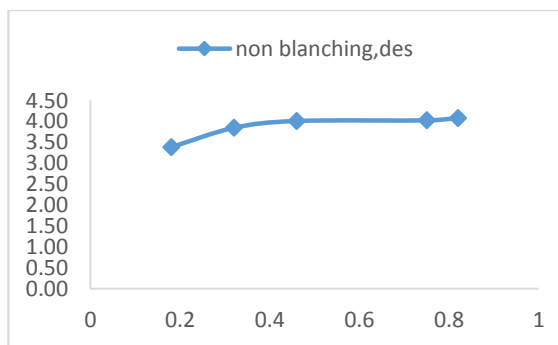
4. b Model Fit Gab S5-P40
(Blanching 80°C Selama 15 menit)



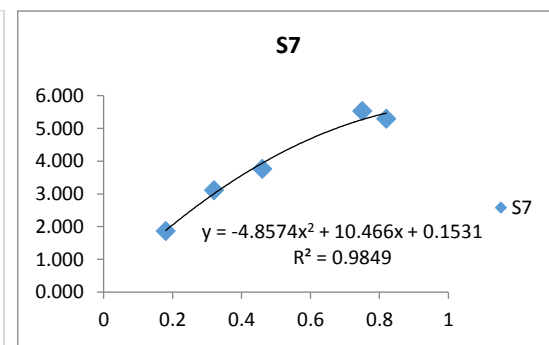
5. a Model Eksperimen S6-P40
(Blanching 80°C Selama 30 menit)



5. a Model Fit Oswin S6-P40
(Blanching 80°C Selama 30 menit)



6. a Model Eksperimen S7-P40
(Tanpa Blanching/Kontrol)



6. b Model Fit Hasley S7-P40
(Tanpa Blanching/Kontrol)

Gambar 4.2. Grafik kesesuaian model fit *isotherm sorption air* (ISA) pada penyimpanan suhu 40°C dari berbagai kombinasi perlakuan awal suhu dan lama blanching (Kondisi pengeringan 65°C).

Hasil eksperimen penyimpanan pada berbagai kombinasi perlakuan pada Gambar 4.1 dan 4.2 menunjukkan nilai kadar air kesetimbangan (M_e) akan meningkat dengan kenaikan nilai aktivitas air (a_w). Proses ini dapat berlangsung karena adanya transfer uap air dari lingkungan ke sampel yang bersifat higroskopis. Pada aktivitas air yang tinggi terjadi proses adsorpsi pada chips sukun sehingga kadar air kesetimbangan menjadi tinggi. Namun pada saat aktivitas air yang rendah terjadi proses desorpsi terhadap sampel sehingga kadar air kesetimbangan menjadi rendah (Banoet, 2006; Azizah, 2017).

Kurva *isoterm sorpsi air* (ISA) pada chips sukun umumnya pada semua kombinasi perlakuan menunjukkan berbentuk sigmoid atau menyerupai bentuk S, sehingga kurva isotherm sorpsi air mendekati tipe II. Menurut Winarno 1992; Azizah, 2017, kurva berbentuk sigmoid paling umum dijumpai pada bahan pangan dan khas untuk masing-masing bahan pangan. Kurva isotermi sorpsi air pada bahan pangan umumnya berbentuk sigmoid dan dapat dihubungkan dengan aktivitas air yang berbeda terhadap bahan padat. Menurut Adawiyah *et al.*, (2010), bahan pangan yang mempunyai penyusun utama berupa karbohidrat, tapioka dan kasein memperlihatkan pola sorpsi isothermis berbentuk sigmoid yaitu pola yang umum ditemui pada sistem pangan *amorf*. Hal ini juga diperkuat oleh pendapat Labuza *et al.*, 1985, bahwa bahan pangan yang kadar airnya rendah memiliki kecenderungan kurva isotherm berbentuk sigmoid. Namun kemiringan kurva isotherm sorpsi yang sigmoid ini dapat berbeda-beda disebabkan adanya sifat alami bahan pangan, suhu serta factor kecepatan adsorpsi dan desorpsi yang terjadi selama penyimpanan (Fennema, 1985; Azizah, 2017). Pola sigmoid dari kurva ISA merupakan ciri khas untuk bahan makanan kering yang kaya akan karbohidrat (Wolf dkk., 1972; Yusa, 2014). Selain itu Adawiyah, 2006; Yusa, 2014) menyatakan bahwa bentuk sigmoid ini akibat adanya efek kapilaritas dan interaksi antara permukaan bahan dengan molekul air, serta efek akumulasi dari ikatan hidrogen, hukum Raoult dan interaksi antara air dan permukaan bahan pangan (Sahin dan Sumnu 2006; Juliana *et al.*, 2020).

Grafik hasil fitting model terpilih pada Gambar 4.1 dan 4.2 merupakan model terseleksi dengan E , a_{ave} dan RMSE terkecil yang lebih mendekati model empiris untuk memprediksi mekanisme *isotherm-sorpsi air*. Rangkuman hasil uji ketepatan model pada berbagai perlakuan bahan dan penyimpanan ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Nilai uji ketepatan model *Isotermis Sorpsi Air (ISA)* pada Skenario Terpilih pada berbagai suhu penyimpanan.

Suhu Penyimpanan	Perlakuan Bahan ^{*)}	Model fit terpilih ^{**)}	E (%) terkecil	e_{ave}	RMSE	R ²	Keterangan
30 °C	S1-P30	Gab	13.019	0.003	0.051	0.7551	TMS ^{***)}
	S2-P30	Caurie	7.593	0.092	0.303	0.9725	MS ^{****)}
	S3-P30	Halsey	9.549	0.001	0.031	0.9261	MS ^{****)}
	S4-P30	Gab	19.062	0.009	0.094	0.2995	TMS ^{***)}
	S5-P30	Oswin	6.008	0.038	0.195	0.7848	MS ^{****)}
	S6-P30	Gab	0.559	0.001	0.014	0.9998	MS ^{****)}
	Kontrol	Oswin	3.405	0.001	0.006	0.9954	MS ^{****)}
40 °C	S1-P40	Gab	8.391	0.001	0.017	0.8736	MS ^{****)}
	S2-P40	Gab	1.375	0.001	0.002	0.9987	MS ^{****)}
	S3-P40	Gab	6.763	0.092	0.303	0.4157	TMS ^{***)}
	S4-P40	Oswin	9.254	0.001	0.015	0.7617	MS ^{****)}
	S5-P40	Gab	2.130	0.001	0.004	0.9928	MS ^{****)}
	S6-P40	Oswin	3.049	0.001	0.007	0.8018	MS ^{****)}
	Kontrol	Halsey	2.830	0.001	0.005	0.9553	MS ^{****)}

Keterangan:

*) S1= blanching 40°C selama 15 menit ; S2= blanching 40°C selama 30 menit; S3= blanching 60°C selama 15 menit; S4=blanching 60°C selama 30 menit; S5=blanching 80°C selama 15 menit; s6=blanching 80°C selama 30 menit; dan Kontrol (tanpa blanching); P30=Penyimpanan 30°C dan P40= Penyimpanan 40°C.

***) Model fit terpilih dengan E, e_{ave} , RMSE terkecil dan R² terbesar dari kombinasi perlakuan

****) TMS = Tidak Memenuhi Syarat

****) MS = Memenuhi Syarat

Hasil uji ketepatan model ISA pada Tabel 4.1 menunjukkan masing-masing kombinasi perlakuan bahan dan model yang terpilih dengan E, a_{ave} , dan RMSE terendah dan tingkat kepercayaan (R²). yang tinggi pada penyimpanan 30°C berturut-turut adalah S1-P30 (model Gab), S2-P30 (model Caurie), S3-P30 (model Halsey), S4-P30 (model Gab), S5-P30 (model Oswin), S6-P30 (model Gab) dan S7-P30/Kontrol (model Oswin). Kombinasi perlakuan bahan dan model terpilih pada penyimpanan 40°C berturut-turut adalah S1-P30 (model Gab), S2-P30 (model Caurie), S3-P30 (model Halsey), S4-P30 (model Gab), S5-P30 (model Oswin), S6-P30 (model Gab) dan S7-P30/kontrol (model Halsey).

Model terpilih selanjutnya dilakukan seleksi model yang memenuhi syarat berdasarkan nilai $E < 10\%$ dan $R^2 \leq 85\%$. Nilai uji E% diatas 10% dianggap tidak dapat menggambarkan keadaan yang sebenarnya. Semakin rendah nilai E %, maka model

isoterm sorpsi air tersebut dapat menggambarkan keadaan yang sebenarnya dengan tepat (Kusnandar dkk., 2010; Hartanto, 2019) sedangkan nilai R^2 menyatakan tingkat kepercayaan terhadap model.

Hasil seleksi lanjut model dilakukan menggunakan kriteria error ($E \leq 10\%$) dan tingkat kepercayaan $R^2 > 0,85$, diperoleh bahwa maka untuk suhu penyimpanan 30°C , perlakuan dan model yang dapat diprediksi masing-masing adalah: blanching 40°C selama 30 menit dengan model Caurie ($E=7,593\%$ dan $R^2=0,9725$); 60°C selama 15 menit dengan model Halsey ($E=9,549\%$ dan $R^2=0,9261$) 80°C selama 30 menit dengan model Gab ($E=0,559\%$ dan $R^2=0,9998$); dan kontrol (tanpa blanching) dengan model Oswin ($E=3,405\%$ dan $R^2=0,9998$). Sementara untuk penyimpanan 40°C , perlakuan dan model yang dapat diprediksi masing-masing adalah: blanching 40°C selama 15 menit dengan model Gab ($E=8,391\%$ dan $R^2=0,8736$); 40°C selama 30 menit dengan model Gab ($E=2,130\%$ dan $R^2=0,9928$); 80°C selama 15 menit dengan model Gab ($E=2,130\%$ dan $R^2=0,9928$); dan kontrol (tanpa blanching) dengan model Oswin ($E=2,830\%$ dan $R^2=0,9553$). Model yang terseleksi digunakan untuk memprediksi hubungan antara aktivitas air a_w dan rasio kelembaban M_e pada rentang a_w 0,18-0,82 pada suhu penyimpanan $30-40^\circ\text{C}$ sebagai paling sesuai untuk memprediksi isotherm sorpsi air dari chips sukun.

4.4. Kesimpulan

Penelitian pengaruh perlakuan suhu penyimpanan terhadap karakteristik isoterm sorpsi air (ISA) chips sukun selama penyimpanan dari berbagai kombinasi perlakuan awal (blanching dan non blanching), suhu blanching (40 , 60 dan 80°C) dan lama blanching (15 dan 30 menit) dan suhu pengeringan (55 dan 65°C) telah menghasilkan model eksperimen ISA dan model fit dengan E , a_w dan RMSE yang rendah dan R_{-sq} yang tinggi dan dianggap sebagai model paling mewakili model eksperimen untuk memprediksi laju sorpsi chips selama penyimpanan

Hasil penelitian telah diperoleh model eksperimen ISA dan model fit untuk memprediksi model eksperimen dengan E , a_w dan RMSE yang rendah dan tingkat kepercayaan (R^2) yang tinggi. Model eksperimen pada semua perlakuan suhu dan lama blanching, baik pada penyimpanan 30°C maupun 40°C umumnya berbentuk sigmoid (tipe II). Penyesuaian model eksperimen dilakukan menggunakan model fit,

yaitu BET, GAB, Oswin, Halsey, Henderson dan Caurie, dengan kriteria $E < 10\%$, e_{ave} dan RMSE paling rendah serta dan R^2 yang tinggi.

Hasil fitting model diperoleh pada pada penyimpanan 30°C, perlakuan dan model fit yang memenuhi kriteria masing-masing adalah: perlakuan blanching 40°C selama 30 menit (Caurie), blanching 40°C selama 30 menit (Hasley), blanching 60°C selama 15 menit (Hasley), blanching 80°C selama 15 menit (Oswin), blanching 80°C selama 30 menit (Gab), dan tanpa Blanching/control (Oswin). Sedangkan model ISA untuk penyimpanan 40°C chip sukun yang terpilih adalah model Caurie untuk S2-P30 (blanching 40°C selama 30 menit), model Halsey untuk S3-P30 (blanching 60°C selama 15 menit), model Oswin untuk S5-P30 (blanching 80°C selama 15) menit), model Gab untuk S6-P30 (blanching 80°C selama 30 menit) dan Hasley untuk S7-P30 (Kontrol).

Hasil seleksi lanjut model dilakukan menggunakan kriteria error ($E \leq 10\%$) dan tingkat kepercayaan $R^2 > 0,85$, diperoleh bahwa maka untuk suhu penyimpanan 30°C, perlakuan dan model yang dapat diprediksi masing-masing adalah: blanching 40°C selama 30 menit dengan model Caurie ($E=7,593\%$ dan $R^2=0,9725$); 60°C selama 15 menit dengan model Halsey ($E=9,549\%$ dan $R^2=0,9261$) 80°C selama 30 menit dengan model Gab ($E=0,559\%$ dan $R^2=0,9998$); dan kontrol (tanpa blanching) dengan model Oswin ($E=3,405\%$ dan $R^2=0,9998$). Sementara untuk penyimpanan 40°C, perlakuan dan model yang dapat diprediksi masing-masing adalah: blanching 40°C selama 15 menit dengan model Gab ($E=8,391\%$ dan $R^2=0,8736$); 40°C selama 30 menit dengan model Gab ($E=2,130\%$ dan $R^2=0,9928$); 80°C selama 15 menit dengan model Gab ($E=2,130\%$ dan $R^2=0,9928$; dan kontrol (tanpa blanching) dengan model Oswin ($E=2,830\%$ dan $R^2=0,9553$). Model yang terseleksi digunakan untuk memprediksi hubungan antara aktivitas air a_w dan rasio kelembaban M_e pada rentang a_w 0,18-0,82 pada suhu penyimpanan 30-40°C sebagai paling sesuai untuk memprediksi isotherm sorpsi air dari chips sukun.

DAFTAR PUSTAKA

- Adawiyah, D. R., Soekarto, S. T., & Bell, R. (2010). Pemodelan isotermis sorpsi air pada model pangan. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, *XXI*(1), 33–39.
- Aini, N., Prihananto, V., & Wijonarko, G. (2014). Karakteristik Kurva Isotherm Sorpsi Air Tepung Jagung Instan. *Agritech*, *34*(1), 50–55.
- Azizah, M. P. N. (2017). *Karakteristik Isoterm Sorpsi Air dari Kerupuk Kedelai*. *549*(November 2016), 40–42.
- Brunauer, S., Deming, I. S., Deming, W. E., & Teller, E. (1940). July, 1940 Theory. *J. Am. Chem. Soc.*, *62*(7), 1723–1732.
- Budijanto, S., Boing, A., & Dwi, Y. (2010). Penentuan umur simpan tortilla dengan metode akselerasi (ASLT) berdasarkan kadar air kritis serta pemodelan ketepatan sorpsi sorpsi isotermisnya *Teknologi Dan Industri Pangan*, *XXI*(2), 165–170.
- Cahyanti, M. N. C. (2016). Pemodelan Isoterm Sorpsi Air Biskuit Coklat Menggunakan Persamaan Caurie. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, *5*(2), 51–53. <https://doi.org/10.17728/jatp.170>
- Crude, M. (2016). *Jenis Garam NaBr RH (%)*. 12–16.
- Fiorio, C. (1948). Infezioni stafilococciche sperimentali ericambio glucidico. *Rivista Dell'Istituto Sieroterapico Italiano*, *23*(1), 53–66.
- Hartanto, B. D. (2019). Karakteristik Isoterm Sorpsi Air Tepung Biji Saga. *Jurnal Pendidikan Penabur*, *03*(32), 61–73.
- Juliana, R., Hasbullah, R., & Mardjan, S. S. (2020). Models of Moisture Sorption Isotherm and The Estimation of Red Ginger Powder Shelf Life in Various Packaging Materials. *Jurnal Keteknik Pertanian*, *8*(1), 23–28. <https://doi.org/10.19028/jtep.08.1.23-28>
- Labuza, T. P., Kaanane, A., & Chen J. Y. (1985). Effect of Temperature on the Moisture Sorption Isotherms and Water Activity Shift of Two Dehydrated Foods. *Journal of Food Science*, *50*(2), 385–392. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1985.tb13409.x>
- Mabrouk, S. Ben, Mariem, S. Ben, & Mabrouk, S. Ben. (2015). Moisture Sorption Isotherms and Isotheric Heats of Sorption of Tomato Slices. *Article in Journal of Renewable and Sustainable Energy*, *1*(3), 140–155.
- Mathlouthi, M., & Rogé, B. (2003). Water vapour sorption isotherms and the caking of food powders. *Food Chemistry*, *82*(1), 61–71. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00534-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00534-4)
- Mona Fitria. 2007. Pendugaan Umur Simpan Produk Biskuit Dengan Metode Akselerasi Berdasarkan Pendekatan Kadar Air Kritis. Skripsi. Institut Pertanian Bogor.

a_{w1}	0.18	0.063	0.136	0.114	0.146	2.098	2.175	0.057
a_{w2}	0.32	0.132	0.179	0.147	0.180	2.197	2.187	0.089
a_{w3}	0.46	0.143	0.301	0.164	0.290	2.236	2.205	0.110
a_{w4}	0.75	0.380	0.437	0.224	0.407	2.498	2.404	0.239
a_{w5}	0.82	0.601	0.585	0.379	0.501	3.211	2.425	0.279

Catatan:

- a_{w1} = Nilai yang diperoleh dengan kondisi RH menggunakan garam jenuh NaOH
- a_{w2} = Nilai yang diperoleh dengan kondisi RH menggunakan garam jenuh $MgCl_2$
- a_{w3} = Nilai yang diperoleh dengan kondisi RH menggunakan garam jenuh K_2CO_3
- a_{w4} = Nilai yang diperoleh dengan kondisi RH menggunakan garam jenuh NaCl
- a_{w5} = Nilai yang diperoleh dengan kondisi RH menggunakan garam jenuh KCl
- S1= blanching 40°C selama 15 menit ; S2= blanching 40°C selama 30 menit; S3= blanching 60°C selama 15 menit; S4=blanching 60°C selama 30 menit; S5=blanching 80°C selama 15 menit; s6=blanching 80°C selama 30 menit; dan Kontrol (tanpa blanching).

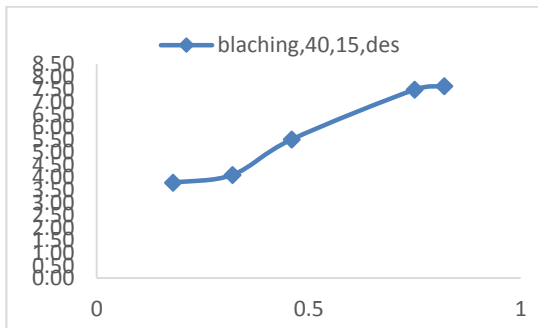
Lampiran 4.2 Rasio Kelembaban pada Suhu Penyimpanan 40°C

aw	Kadar air seimbang (g H ₂ O/g bk), M_e							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	
a_{w1}	0.18	0.115	0.102	0.080	0.083	0.102	0.150	0.096
a_{w2}	0.32	0.117	0.109	0.098	0.098	0.130	0.163	0.103
a_{w3}	0.46	0.141	0.112	0.145	0.100	0.147	0.168	0.122
a_{w4}	0.75	0.148	0.142	0.168	0.109	0.157	0.169	0.136
a_{w5}	0.82	0.214	0.152	0.210	0.167	0.171	0.195	0.155

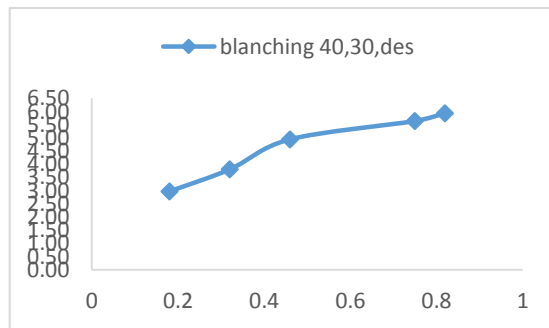
Catatan:

- a_{w1} = Nilai yang diperoleh dengan kondisi RH menggunakan garam jenuh NaOH
- a_{w2} = Nilai yang diperoleh dengan kondisi RH menggunakan garam jenuh $MgCl_2$
- a_{w3} = Nilai yang diperoleh dengan kondisi RH menggunakan garam jenuh K_2CO_3
- a_{w4} = Nilai yang diperoleh dengan kondisi RH menggunakan garam jenuh NaCl
- a_{w5} = Nilai yang diperoleh dengan kondisi RH menggunakan garam jenuh KCl
- S1= blanching 40°C selama 15 menit ; S2= blanching 40°C selama 30 menit; S3= blanching 60°C selama 15 menit; S4=blanching 60°C selama 30 menit; S5=blanching 80°C selama 15 menit; s6=blanching 80°C selama 30 menit; dan Kontrol (tanpa blanching);

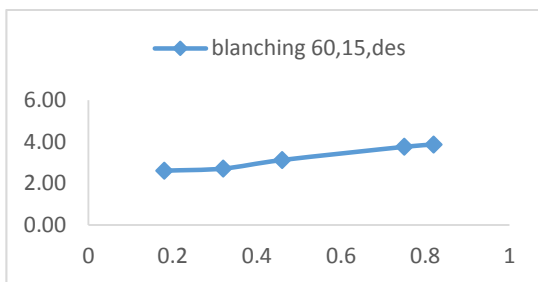
Lampiran 4.3. Grafik Isothermis Sorption Air Data Eksperimen Penyimpanan 30°C



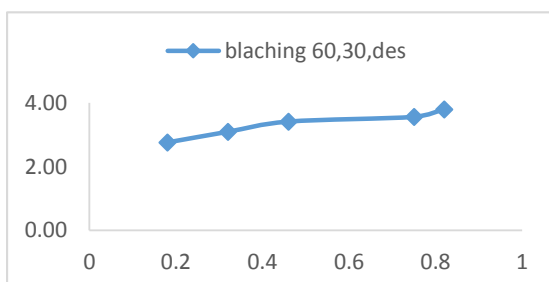
a) Grafik eksperimen S1 (Blach 40°C, 15')



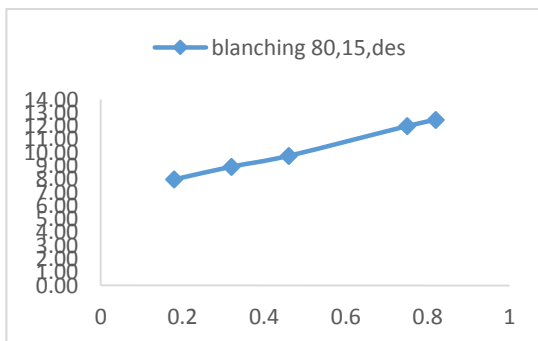
b) Grafik eksperimen S2 (Bch 40°C, 30')



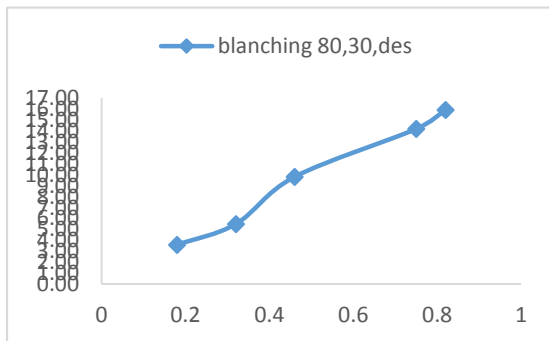
c) Grafik eksperimen S3 (Blach 60°C, 15')



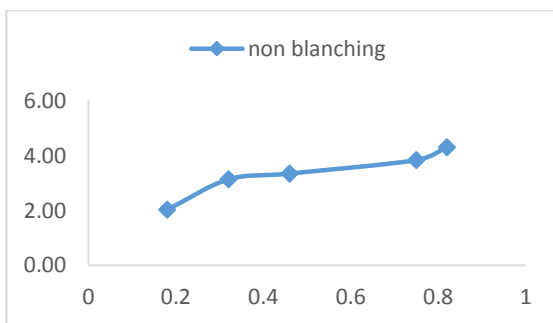
d) Grafik eksperimen S4 (Blanch 60°C, 30')



e) Grafik eksperimen S5 (Blanch 80°C, 15')

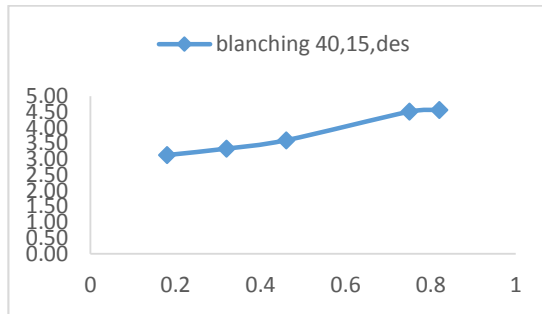


f) Grafik eksperimen S6 (Blanch 60°C, 30')

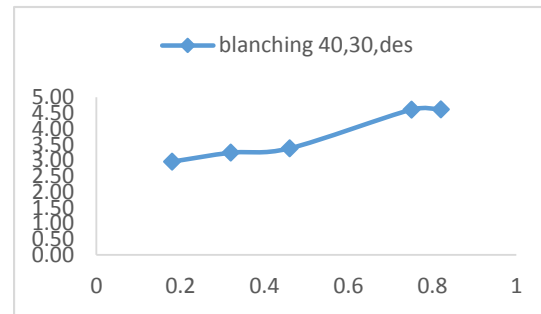


g) Grafik eksperimen Kontrol

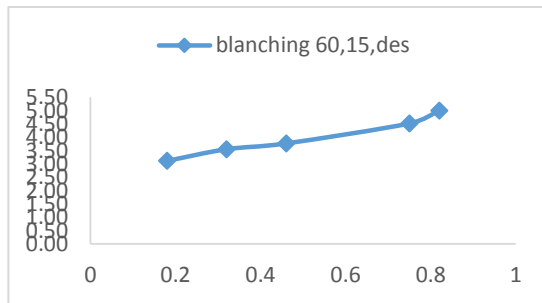
Lampiran 4.4. Grafik Isothermis Sorption Air Data Eksperimen Penyimpanan 40°C



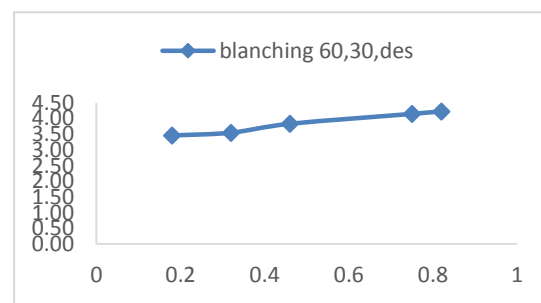
a) Grafik eksperimen S1 (Blach 40oC, 15')



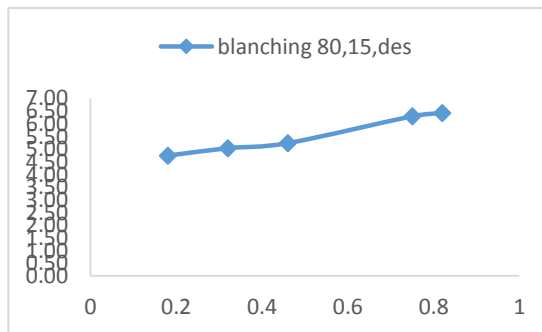
b) Grafik eksperimen S2 (Bch 40oC, 30')



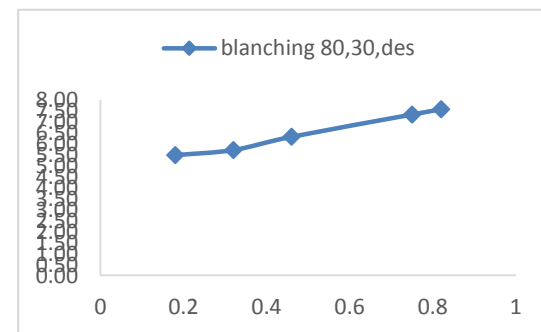
c) Grafik eksperimen S3 (Blach 60°C, 15')



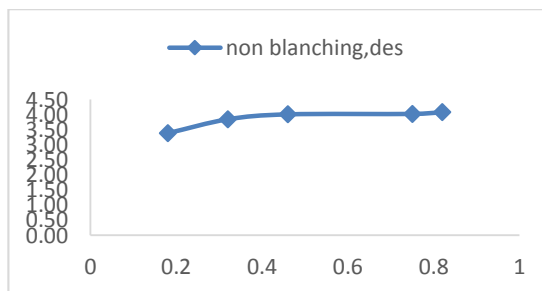
d) Grafik eksperimen S4 (Blanch 60°C, 30')



e) Grafik eksperimen S5 (Blanch 80°C, 15')

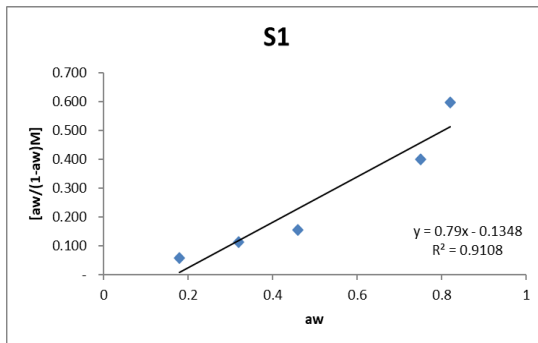


f) Grafik eksperimen S6 (Blanch 60°C, 30')

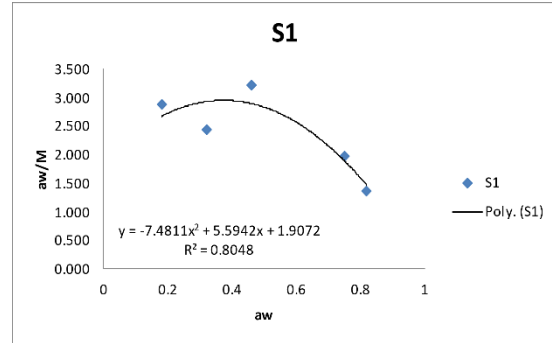


Grafik eksperimen Kontrol

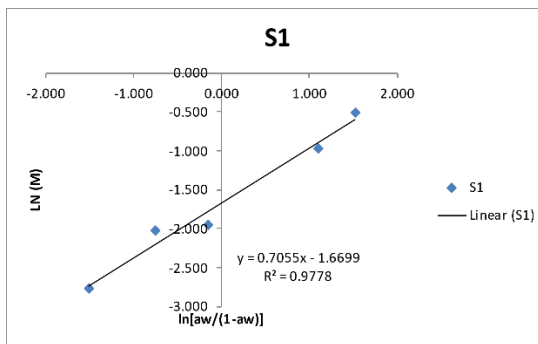
Lampiran 4.5.a Hasil fitting model untuk Perlakuan S1—P30



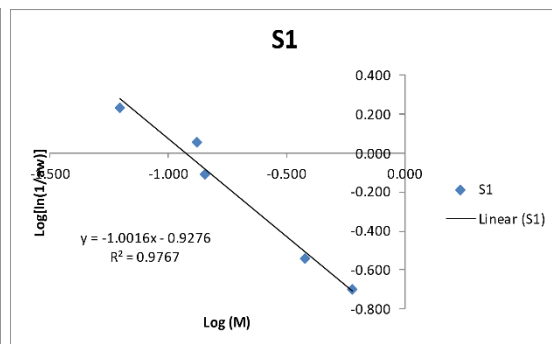
1) Model BET (SB=40°C, LB=15 menit)



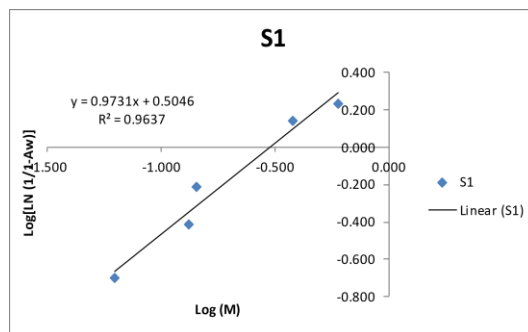
2) Model GAB (SB=40°C, LB=15 menit)



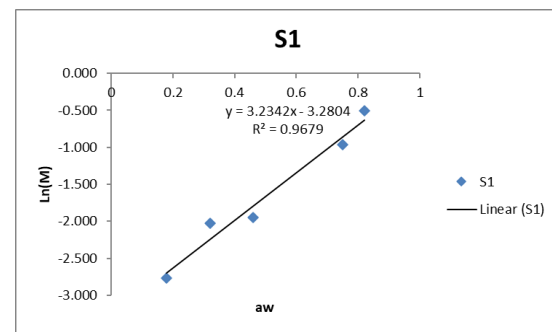
3) Model OSWIN (SB=40°C, LB=15 menit)



4) Model HASLEY (SB=40°C, LB=15 menit)

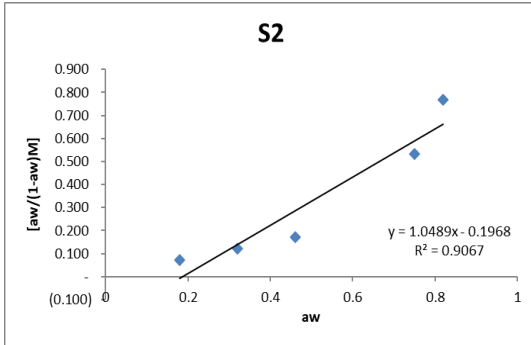


5) Model HENDERSON (SB=40°C, LB=15 menit)

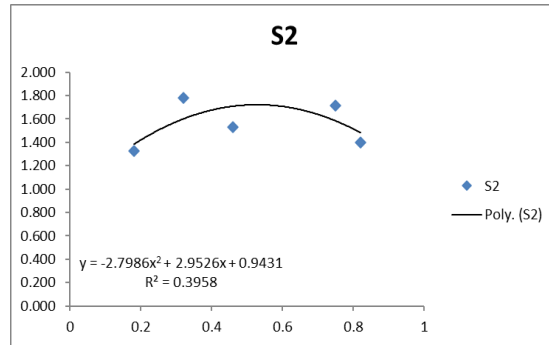


6) Model CAURIE (SB=40°C, LB=15 menit)

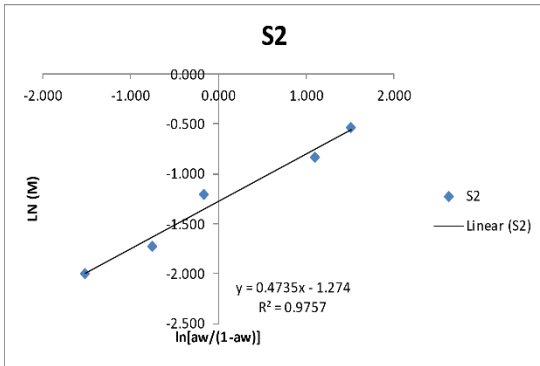
Lampirann 4.5.b Hasil fitting model untuk Perlakuan S2-P30



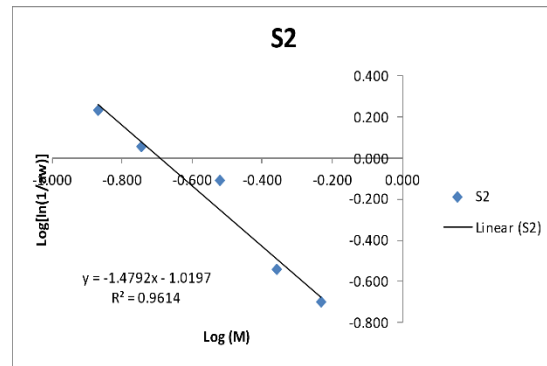
1) Model BET (SB=40°C, LB=30 menit)



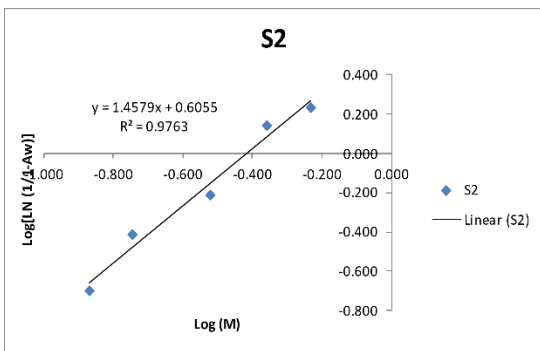
2) Model GAB (SB=40°C, LB=30 menit)



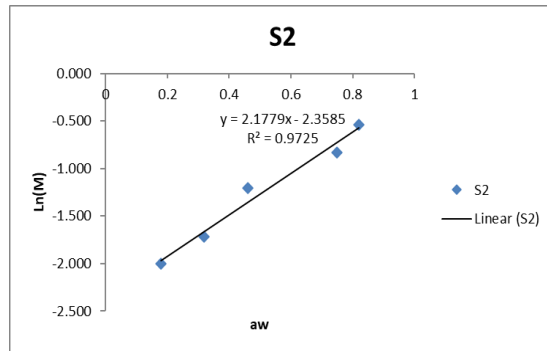
3) Model OSWIN (SB=40°C, LB=30 menit)



4) Model HASLEY (SB=40°C, LB=30 menit)

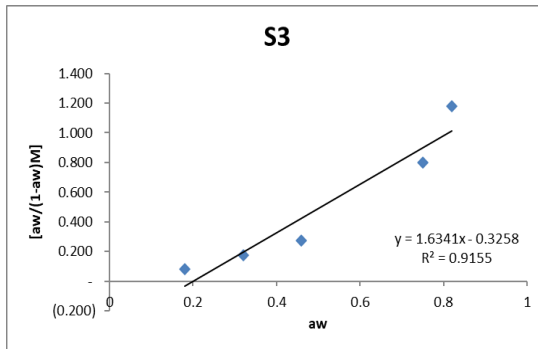


5) Model HENDERSON (SB=40°C, LB=30 menit)

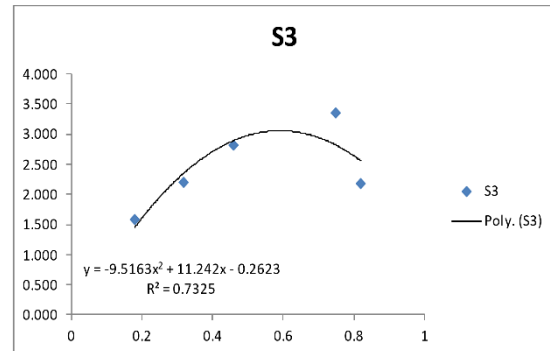


6) Model CAURIE (SB=40°C, LB=30 menit)

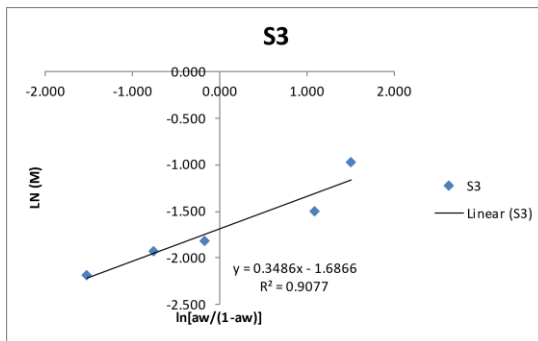
Lampirann 4.5.c Hasil fitting model untuk Perlakuan S3-P30



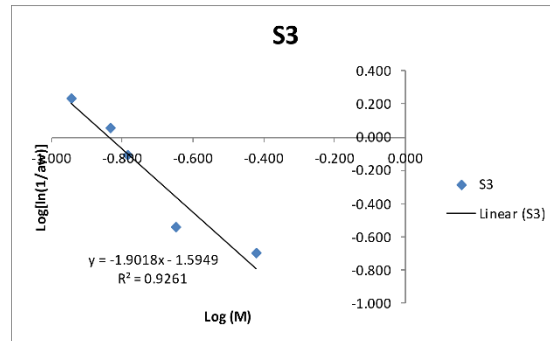
1) Model BET (SB=60°C, LB=15 menit)



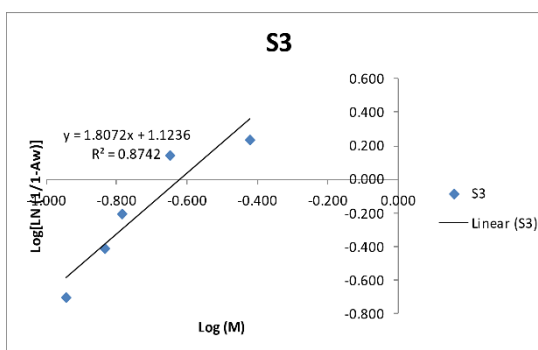
2) Model GAB (SB=60°C, LB=15 menit)



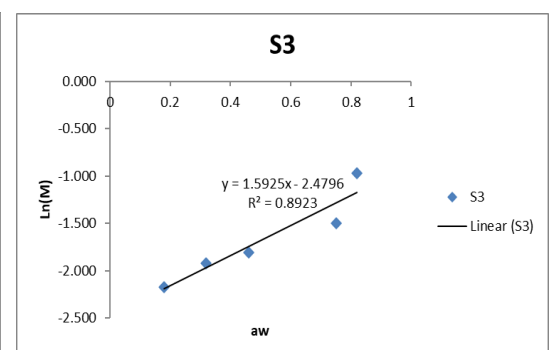
3) Model OSWIN (SB=60°C, LB=15 menit)



4) Model HASLEY (SB=60°C, LB=15 menit)

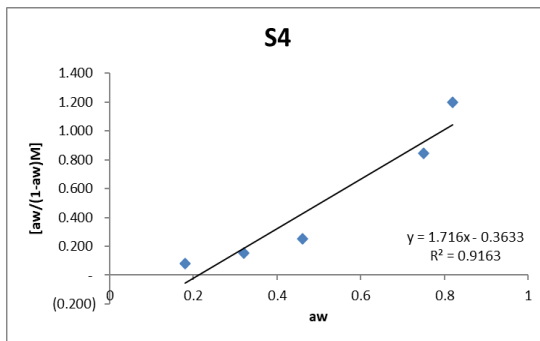


5) Model HENDERSON (SB=60°C, LB=15 menit)

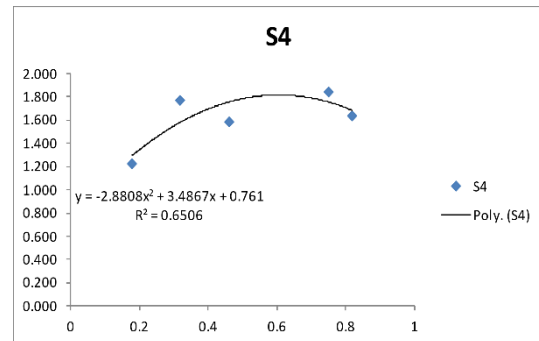


6) Model CAURIE (SB=60°C, LB=15 menit)

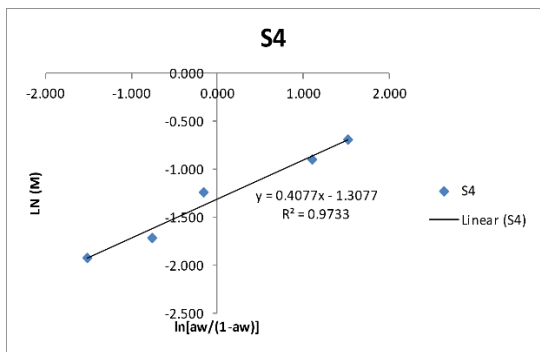
Lampirann 4.5.d Hasil fitting model untuk Perlakuan S4-P30



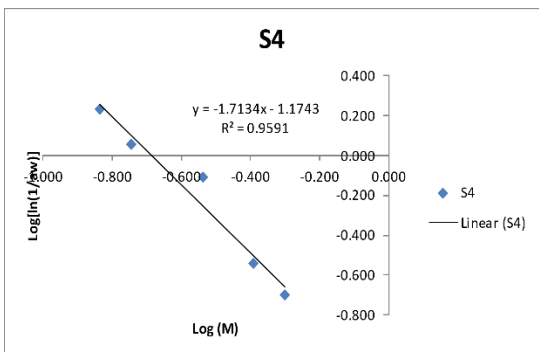
1) Model BET (SB=60°C, LB=30 menit)



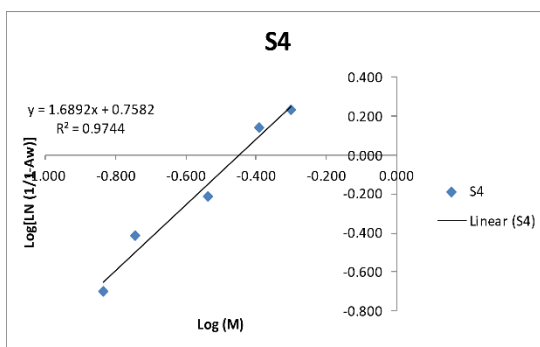
2) Model GAB (SB=60°C, LB=30 menit)



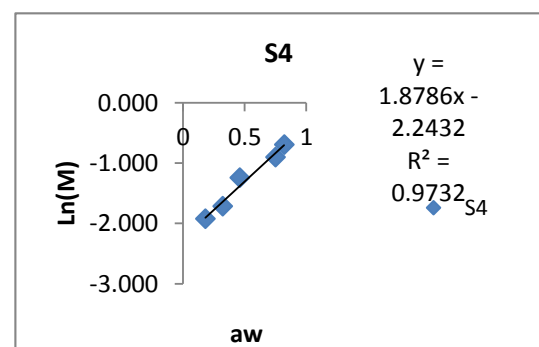
3) Model OSWIN (SB=60°C, LB=30 menit)



4) Model HASLEY (SB=60°C, LB=30 menit)

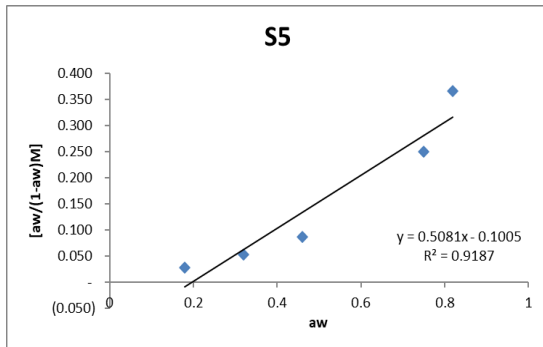


5) Model HENDERSON (SB=60°C, LB=30 menit)

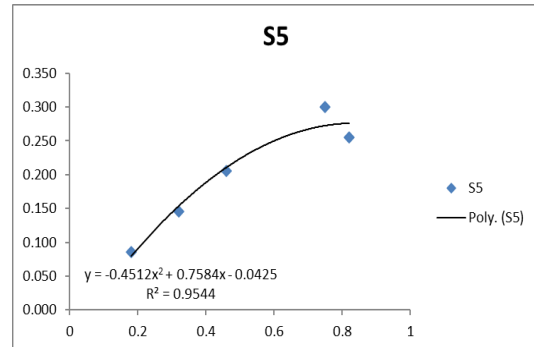


6) Model CAURIE (SB=60°C, LB=30 menit)

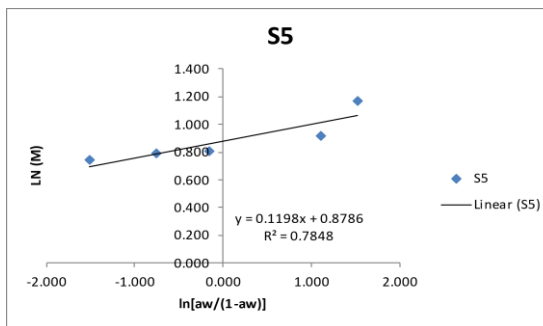
Lampirann 4.5.e Hasil fitting model untuk Perlakuan S5-P30



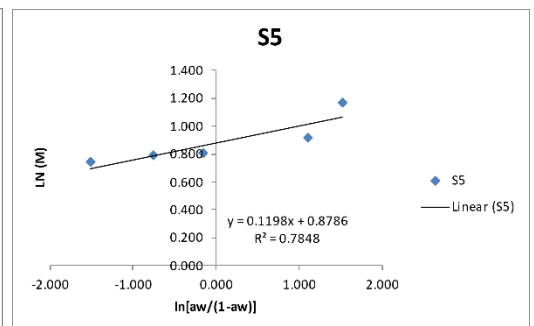
1) Model BET (SB=80°C, LB=15 menit)



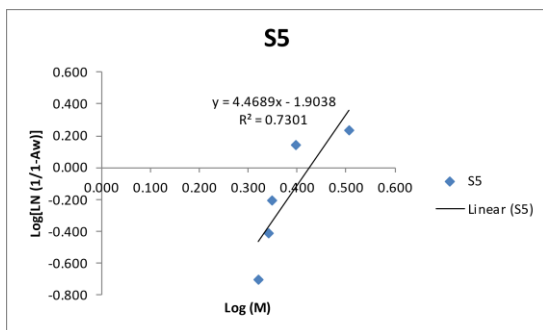
2) Model GAB (SB=80°C, LB=15 menit)



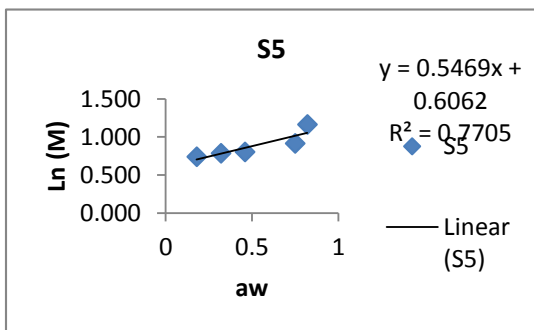
3) Model OSWIN (SB=80°C, LB=15 menit)



4) Model HASLEY (SB=80°C, LB=15 menit)

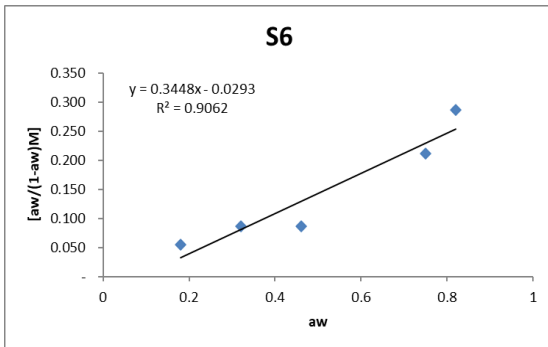


5) Model HENDERSON (SB=80°C, LB=15 menit)

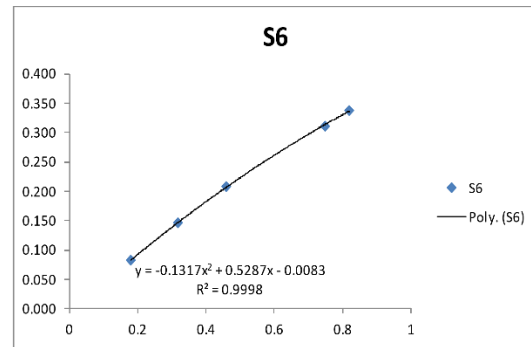


6) Model CAURIE (SB=80°C, LB=15 menit)

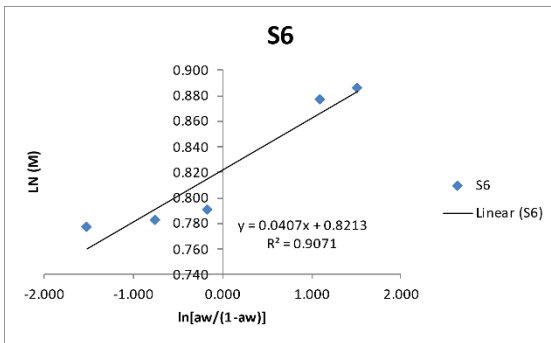
Lampirann 4.5.f Hasil fitting model untuk Perlakuan S6-P30



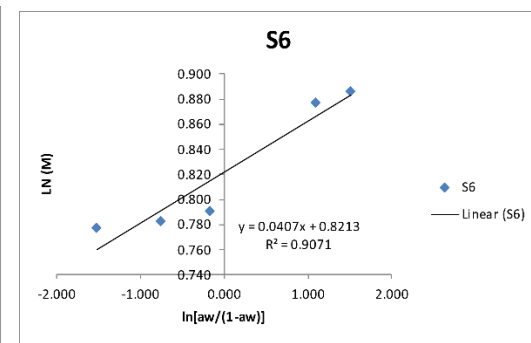
1) Model BET (SB=80°C, LB=30 menit)



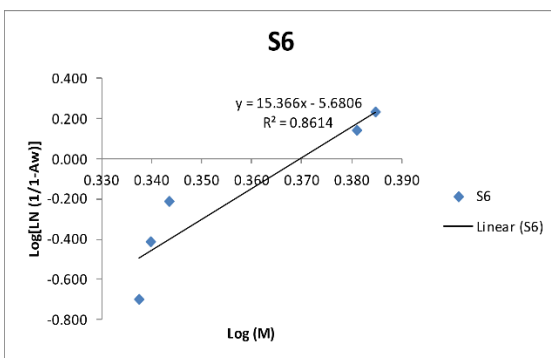
2) Model GAB (SB=80°C, LB=30 menit)



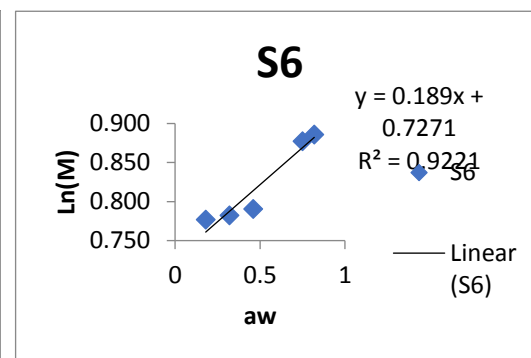
3) Model OSWIN (SB=80°C, LB=30 menit)



4) Model HASLEY (SB=80°C, LB=30 menit)

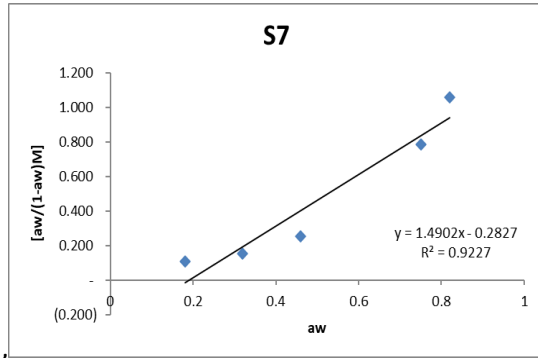


5) Model HENDERSON (SB=80°C, LB=30 menit)

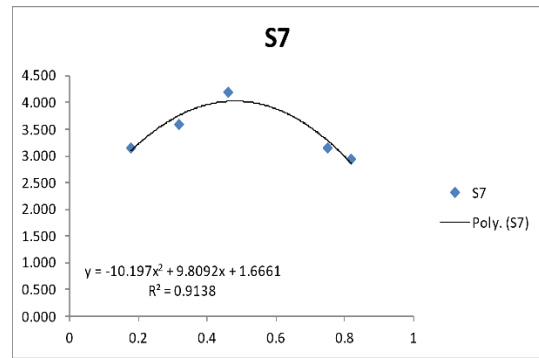


6) Model CAURIE (SB=60°C, LB=30 menit)

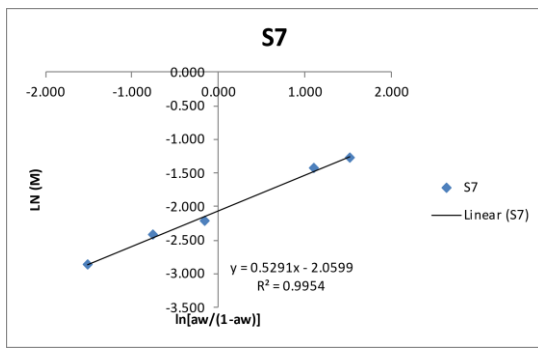
Lampirann 4.5.g Hasil fitting model untuk Tanpa Perlakuan Kontrol-P30



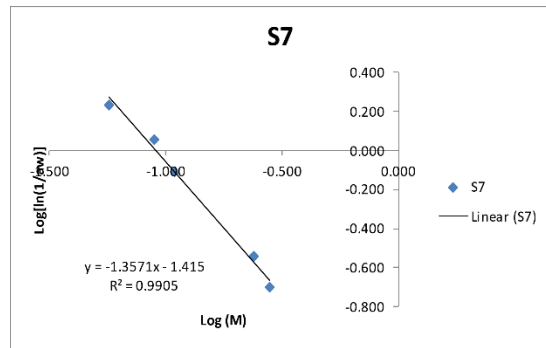
1) Model BET Kontrol (Tanpa Blanching)



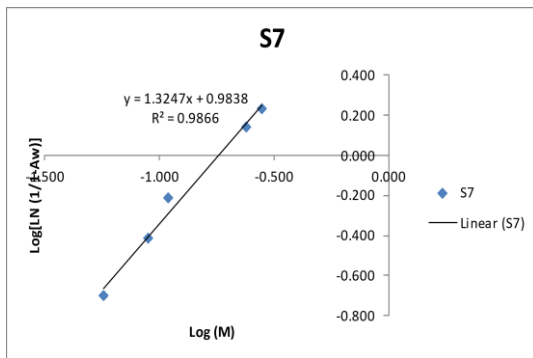
2) Model GAB Kontrol (Tanpa Blanching)



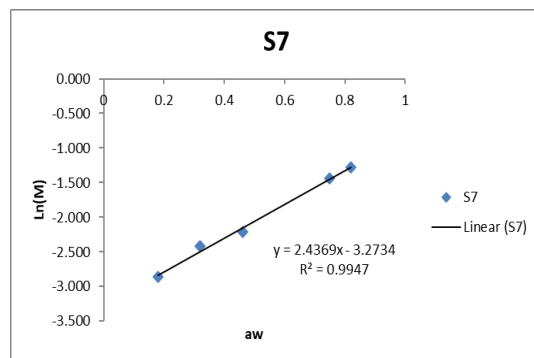
3) Model OSWIN Kontrol (Tanpa Blanching)



4) Model HASLEY Kontrol (Tanpa Blanching)

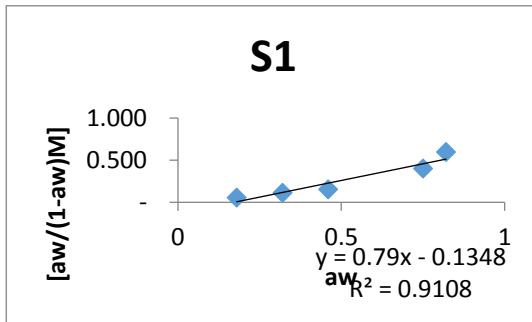


5) Model HENDERSON Kontrol (Tanpa Blanching)

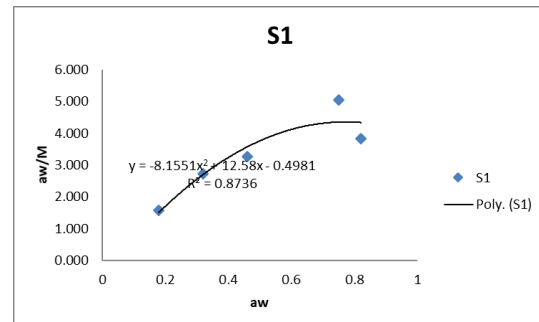


6) Model CAURIE Kontrol (Tanpa Blanching)

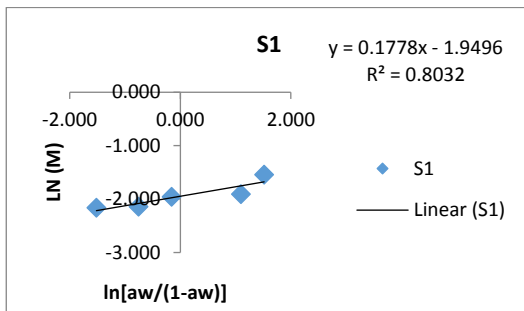
Lampirann 4.6.a Hasil fitting model untuk Perlakuan S1-P40



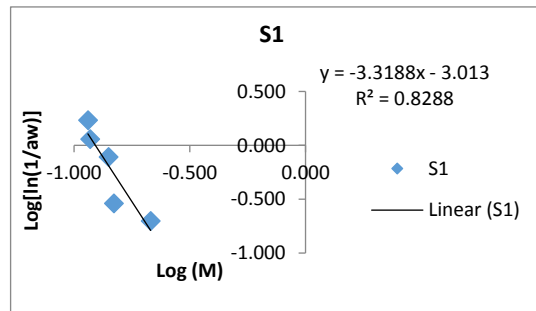
1) Model BET (SB=40°C, LB=15 menit)



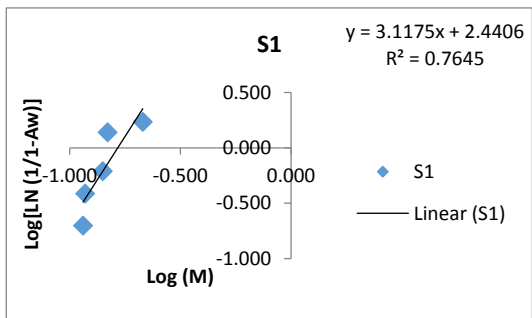
2) Model GAB (SB=40°C, LB=15 menit)



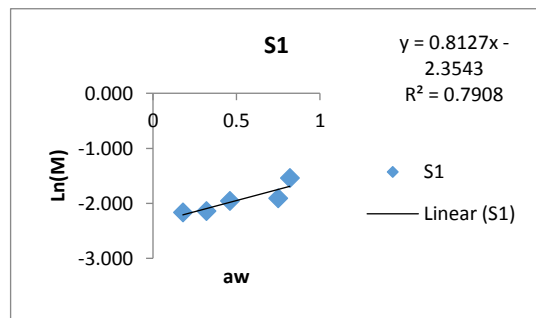
3) Model OSWIN (SB=40°C, LB=15 menit)



4) Model HASLEY (SB=40°C, LB=15 menit)

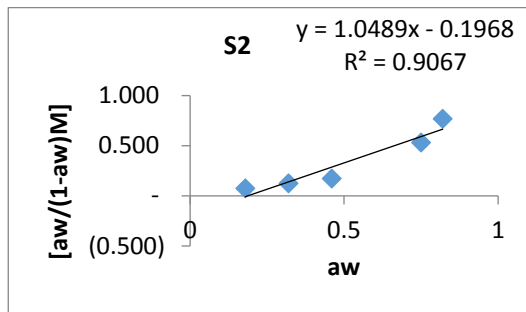


5) Model HENDERSON (SB=40°C, LB=15 menit)

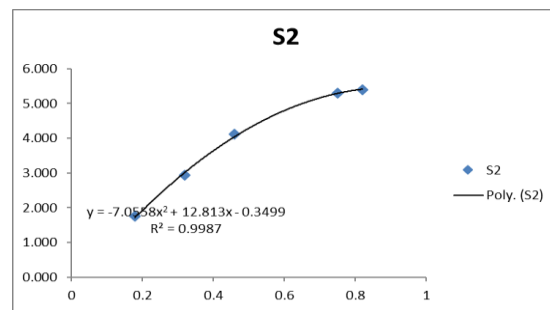


6) Model CAURIE (SB=40°C, LB=15 menit)

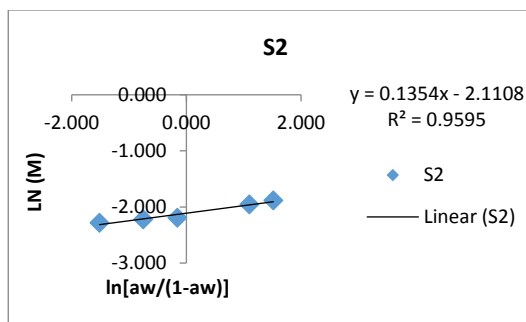
Lampirann 4.6.b Hasil fitting model untuk Perlakuan S2-P40



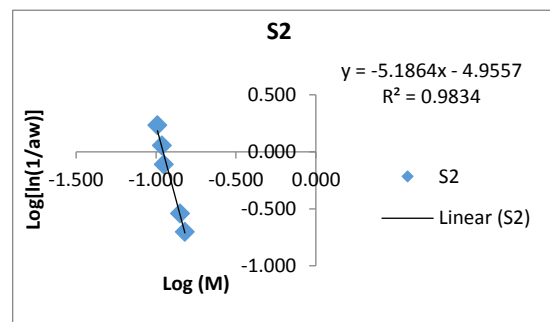
1) Model BET (SB=40°C, LB=30 menit)



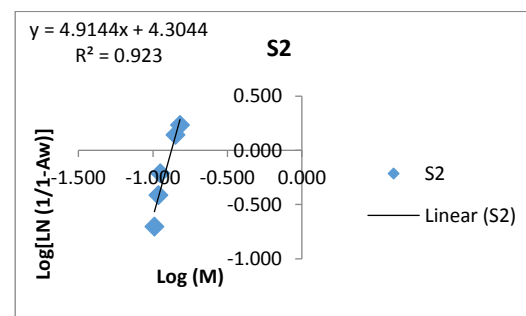
2) Model GAB (SB=40°C, LB=30 menit)



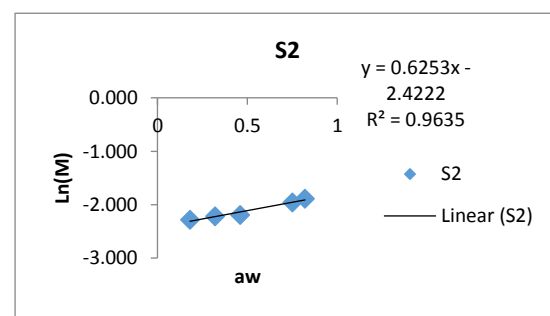
3) Model OSWIN (SB=40°C, LB=30 menit)



4) Model HASLEY (SB=40°C, LB=30 menit)

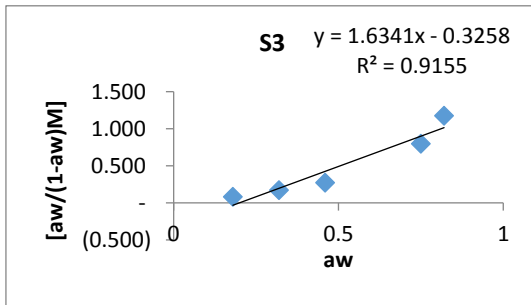


5) Model HENDERSON (SB=40°C, LB=30 menit)

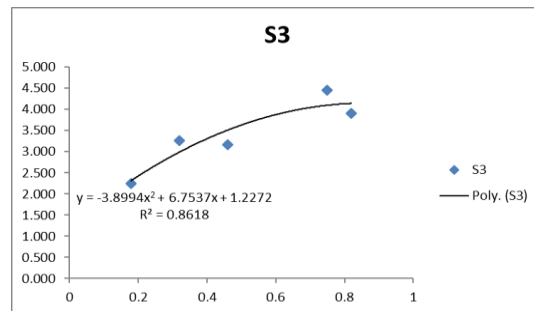


6) Model CAURIE (SB=40°C, LB=30 menit)

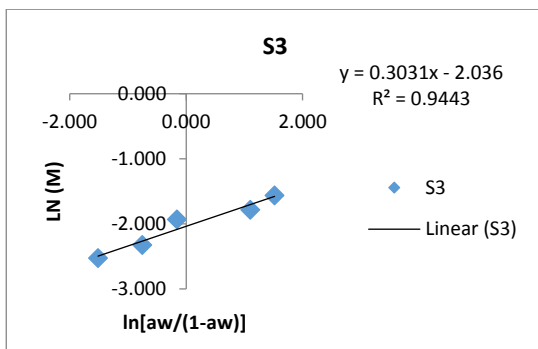
Lampirann 4.6.c Hasil fitting model untuk Perlakuan S3-P40



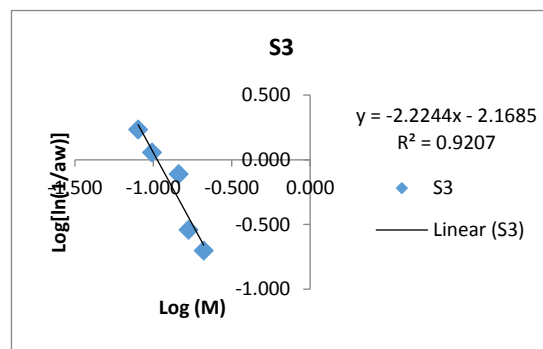
1) Model BET (SB=60°C, LB=15 menit)



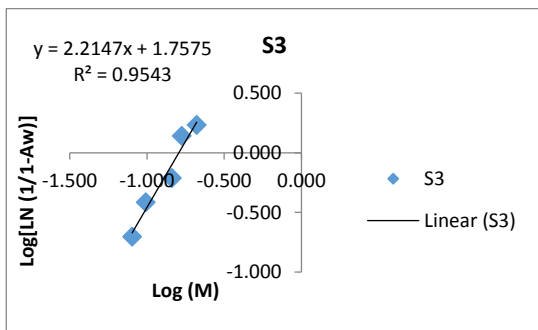
2) Model GAB (SB=60°C, LB=15 menit)



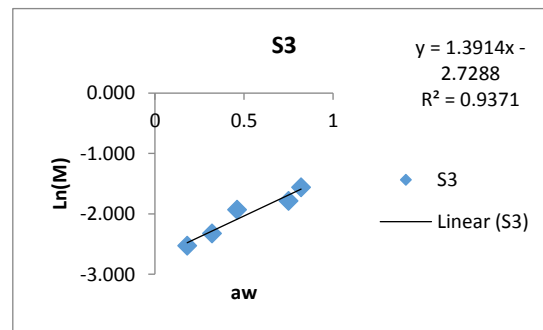
3) Model OSWIN (SB=60°C, LB=15 menit)



4) Model HASLEY (SB=60°C, LB=15 menit)

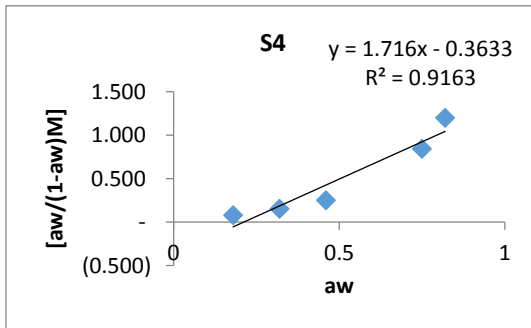


5) Model HENDERSON (SB=60°C, LB=15 menit)

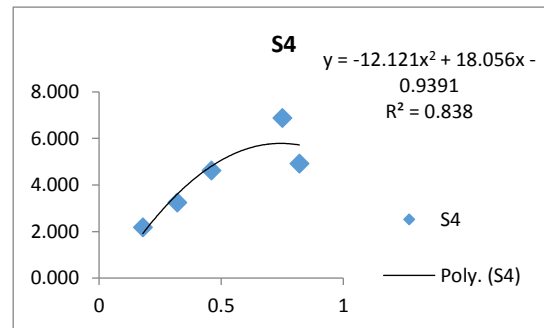


6) Model CAURIE (SB=60°C, LB=15 menit)

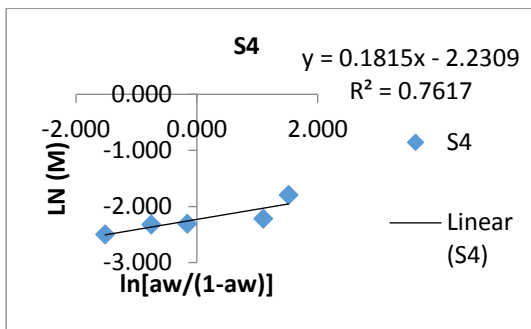
Lampirann 4.6.d Hasil fitting model untuk Perlakuan S4-P40



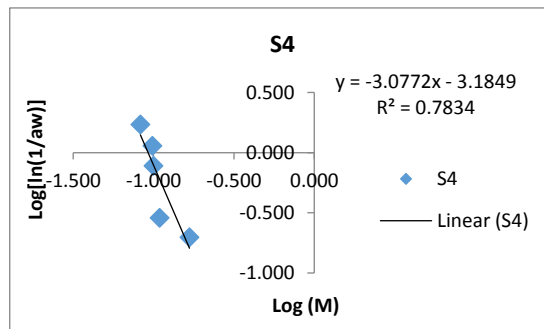
1) Model BET (SB=60°C, LB=30 menit)



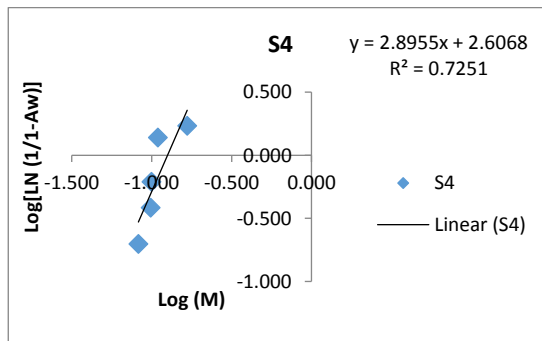
2) Model GAB (SB=60°C, LB=30 menit)



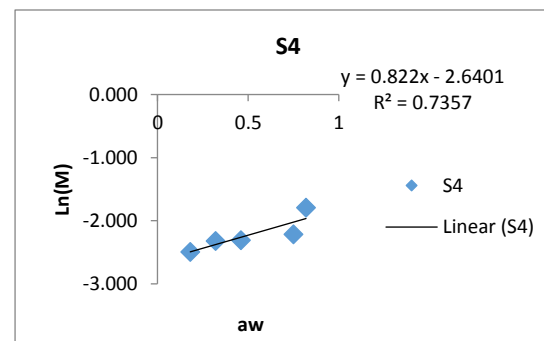
3) Model OSWIN (SB=60°C, LB=30 menit)



4) Model HASLEY (SB=60°C, LB=30 menit)

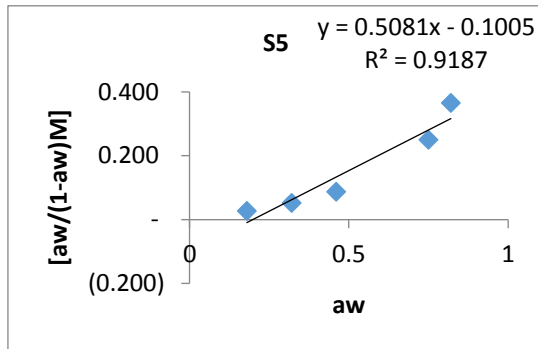


5) Model HENDERSON (SB=60°C, LB=30 menit)

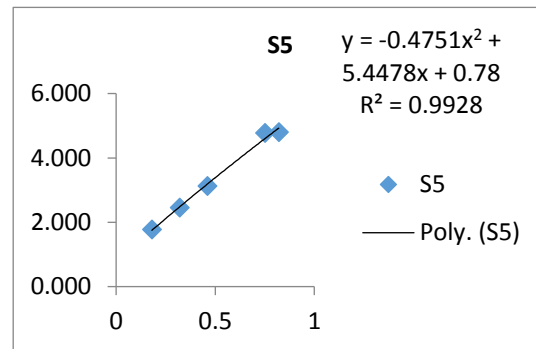


6) Model CAURIE (SB=60°C, LB=30 menit)

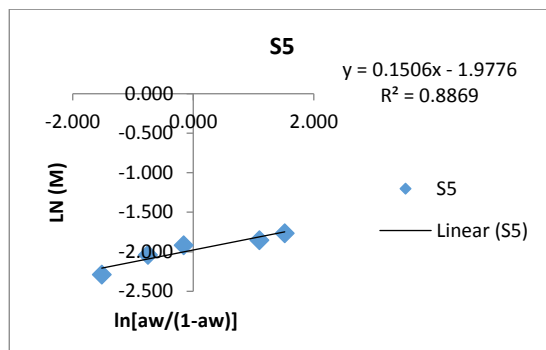
Lampirann 4.6.e Hasil fitting model untuk Perlakuan S5-P40



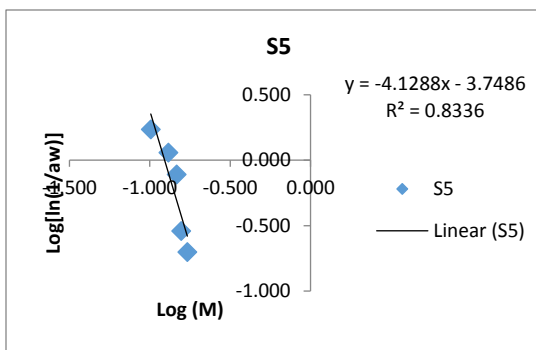
1) Model BET (SB=80°C, LB=15 menit)



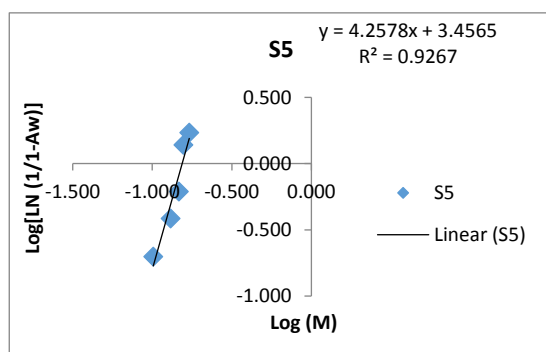
2) Model GAB (SB=80°C, LB=15 menit)



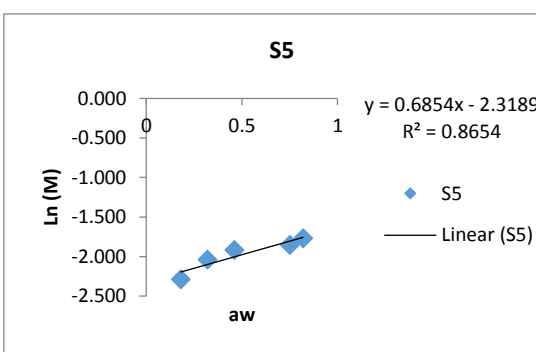
3) Model OSWIN (SB=80°C, LB=15 menit)



4) Model HASLEY (SB=80°C, LB=15 menit)

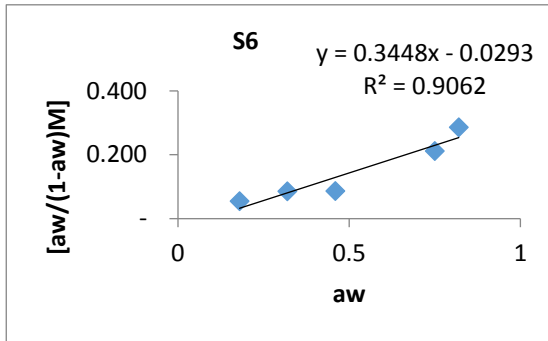


5) Model HENDERSON (SB=80°C, LB=15 menit)

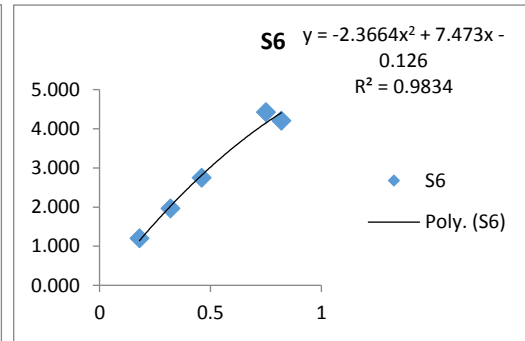


6) Model CAURIE (SB=80°C, LB=15 menit)

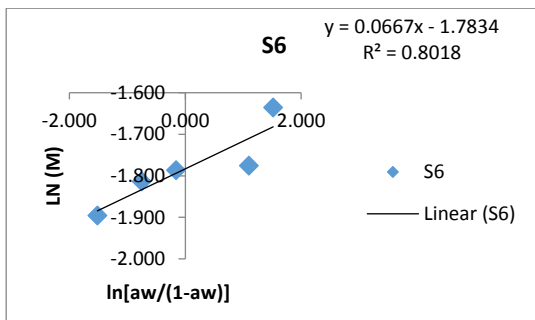
Lampirann 4.6.f Hasil fitting model untuk Perlakuan S6-P40



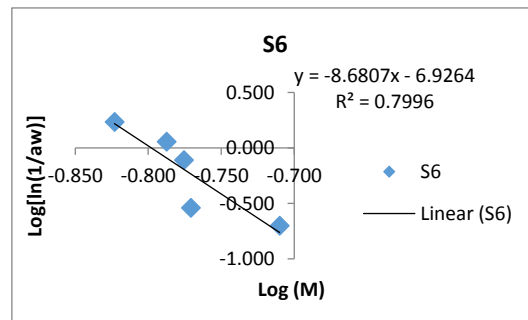
1) Model BET (SB=80°C, LB=30 menit)



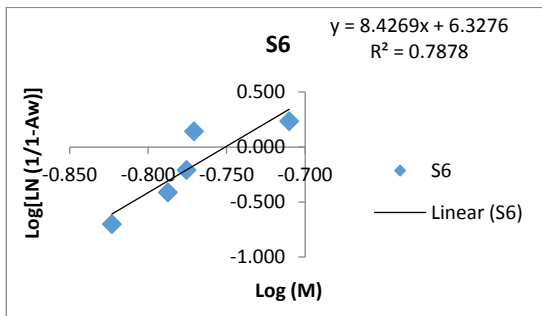
2) Model GAB (SB=80°C, LB=30 menit)



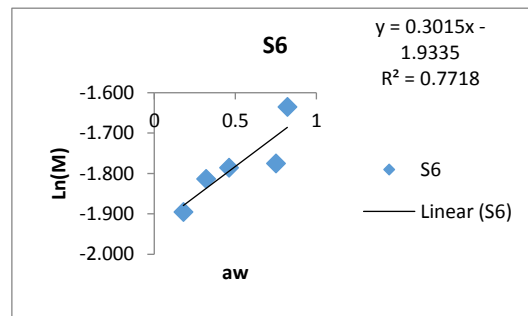
3) Model OSWIN (SB=80°C, LB=30 menit)



4) Model HASLEY (SB=80°C, LB=30 menit)

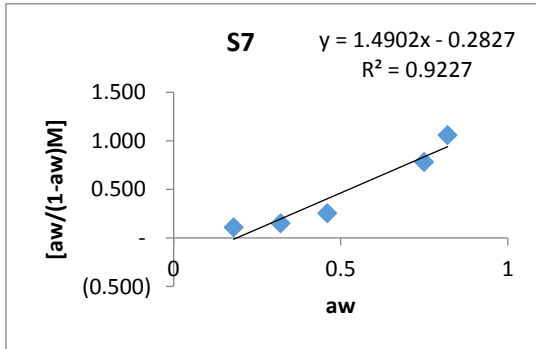


5) Model HENDERSON (SB=80°C, LB=30 menit)

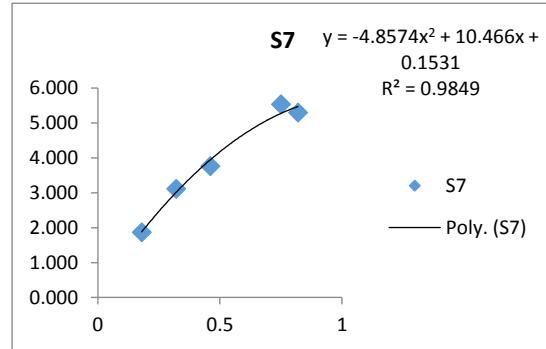


6) Model CAURIE (SB=80°C, LB=30 menit)

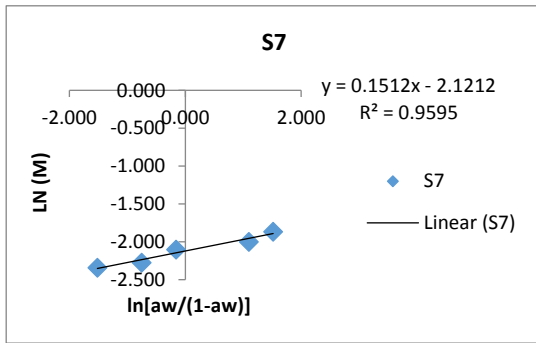
Lampiran 4.6.g Hasil fitting model untuk Tanpa Perlakuan Kontrol-P40



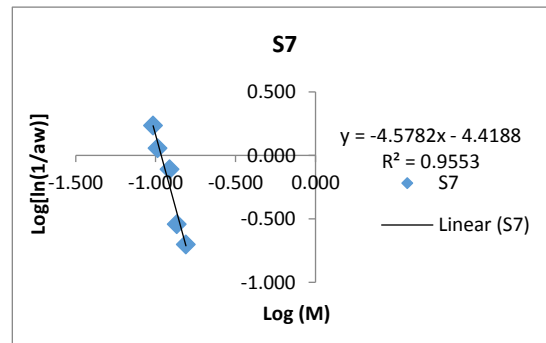
1) Model BET Kontrol (Tanpa Blanching)



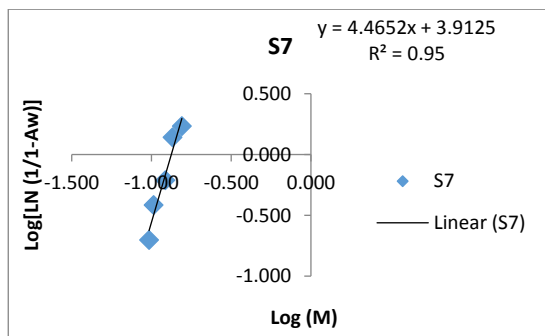
2) Model GAB Kontrol (Tanpa Blanching)



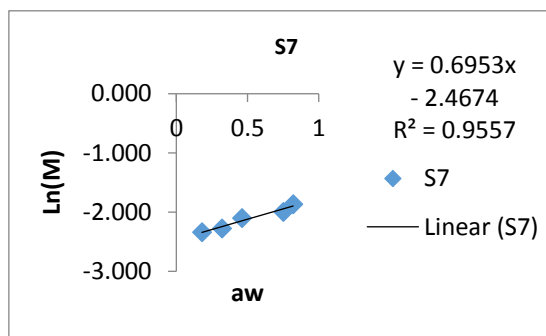
3) Model OSWIN Kontrol (Tanpa Blanching)



4) Model HASLEY Kontrol (Tanpa Blanching)



5) Model HENDERSON Kontrol (Tanpa Blanching)



6) Model CAURIE Kontrol (Tanpa Blanching)

BAB V

KESIMPULAN UMUM

Pengeringan lapisan tipis menggunakan oven try-dryer terhadap chips sukun dilakukan pada suhu 55°C dan 65°C, perlakuan suhu blanching 40, 60 dan 80°C dan waktu 15 dan 30 menit, dilanjutkan perlakuan suhu penyimpanan 30°C dan 40°C. Pengamatan terhadap kadar air, aktivitas air dan penyusutan. Data diperoleh dianalisis untuk mendapatkan profil kadar air, laju pengeringan, penyusutan, difusivitas efektif dan energi aktivasi selama pengeringan, serta profil dan model prediksi isotermis sorpsi air selama penyimpanan.

Penelitian ini bertujuan untuk 1) menganalisis pengaruh suhu dan lama blanching dan suhu pengeringan terhadap profil kadar air, laju pengeringan, penyusutan, difusivitas efektif dan profil isoterm sorpsi air selama penyimpanan. 2) analisis pengaruh kombinasi parameter perlakuan blanching, suhu dan lama pengeringan terhadap rasio keseimbangan uap air bahan, difusivitas efektif dan energi aktivasi selama pengeringan, dan 3) observasi model karakteristik sorpsi selama penyimpanan melalui hubungan antara a_w dan kadar air kesetimbangan (M_e) selama penyimpanan

Pada perlakuan suhu pengeringan 55°C menunjukkan bahwa kadar air kesetimbangan pada blanching 40°C selama 15 menit (6,8%) dan blanching 40°C selama 30 menit (7,76%) lebih rendah dari pada tanpa blanching. Sementara perlakuan suhu pengeringan 65°C menunjukkan bahwa kadar air kesetimbangan pada blanching 40°C selama 15 menit (4,17%) dan blanching 40°C selama 30 menit (3,13%) lebih rendah dari pada tanpa blanching.

Laju pengeringan pada suhu 55°C dan 65°C pada semua perlakuan suhu dan lama blanching lebih tinggi dari tanpa blanching, sehingga perlakuan blanching meningkatkan laju pengeringan. Laju pengeringan tertinggi diperoleh pada perlakuan blanching 80°C selama 15 menit maupun 30 menit.

Nilai penyusutan pada suhu pengeringan 65°C lebih tinggi dibanding 55°C pada setiap perlakuan blanching, sehingga semakin tinggi suhu pengeringan maka semakin besar nilai penyusutan. Nilai penyusutan tertinggi pada blanching 80°C selama 30 menit dimana pada perlakuan suhu 80°C menyebabkan jumlah molekul air yang menyerap dan terikat dalam granula pati sangat tinggi yang mengakibatkan terjadi pembengkakan pada granula yang selanjutnya terjadi ratio penyusutan yang tinggi setelah proses pengeringan

Difusivitas efektif pada proses pengeringan menunjukkan bahwa pada pengeringan suhu 65°C, difusivitas efektif pada semua kombinasi perlakuan suhu dan lama blanching berada pada $2,012 \times 10^{-10}$ - $5,842 \times 10^{-10}$ m²detik⁻¹. Perlakuan 40°C-15 menit, 40°C-30 menit, 60°C-15, dan 60°C-30 menit lebih tinggi dari tanpa blanching ($4,998 \times 10^{-10}$ m²detik⁻¹ dengan energi aktivasi 59,54 kJ/mol^oK). Sementara pada pengeringan suhu 55°C, difusivitas efektif pada semua kombinasi perlakuan suhu dan lama blanching lebih rendah dari tanpa blanching. Difusivitas efektif paling rendah pada perlakuan blanching 80°-15 menit, yaitu $2,986 \times 10^{-10}$ dengan energi aktivasi 61,6 kJ/mol^oK. Sementara paling tinggi pada perlakuan blanching 60°C-15 menit, yaitu $5,5171 \times 10^{-10}$ m²detik⁻¹ dengan energi aktivasi 59,88 kJ/mo^oK. Namun nilai difusivitas efektif (D_{eff}) buah sukun masih berada pada selang nilai difusivitas efektif bahan pangan yaitu antara 10^{-13} - 10^{-6} m²s⁻¹, umumnya berada pada selang 10^{-12} - 10^{-8} m²s⁻¹.

Model eksperimen ISA dan model fit untuk memprediksi model eksperimen dengan E, a_w dan RMSE yang rendah dan tingkat kepercayaan yang tinggi. Model eksperimen pada semua perlakuan suhu dan lama blanching, baik pada penyimpanan 30°C maupun 40°C umumnya berbentuk sigmoid (tipe II). Penyesuaian model eksperimen dilakukan menggunakan model fit, yaitu BET, GAB, Oswin, Halsey, Henderson dan Caurie, dengan kriteria $E < 10\%$, e_{ave} dan RMSE paling rendah serta dan R^2 yang tinggi.

Berdasarkan hasil seleksi lanjut model menggunakan kriteria error ($E \leq 10\%$) dan tingkat kepercayaan $R^2 > 0,85$, maka untuk suhu penyimpanan 30°C, perlakuan dan model yang dapat diprediksi masing-masing adalah: blanching 40°C selama 30 menit dengan model Caurie ($E=7,593\%$ dan $R^2=0,9725$); 60°C selama 15 menit dengan model Halsey ($E=9,549\%$ dan $R^2=0,9261$) 80°C selama 30 menit dengan model Gab ($E=0,559\%$ dan $R^2=0,9998$); dan kontrol (tanpa blanching) dengan model Oswin ($E=3,405\%$ dan $R^2=0,9998$). Sementara untuk penyimpanan 40°C, perlakuan dan model yang dapat diprediksi masing-masing adalah: blanching 40°C selama 15 menit dengan model Gab ($E=8,391\%$ dan $R^2=0,8736$); 40°C selama 30 menit dengan model Gab ($E=2,130\%$ dan $R^2=0,9928$); 80°C selama 15 menit dengan model Gab ($E=2,130\%$ dan $R^2=0,9928$); dan kontrol (tanpa blanching) dengan model Oswin ($E=2,830\%$ dan $R^2=0,9553$).

Model yang terseleksi merupakan model yang paling sesuai untuk memprediksi profil isotherm sorpsi air chips sukun pada rentang a_w 0,18-0,82 pada suhu penyimpanan 30-40°C.