

3. HASIL PENELITIAN

Hasil analisa umur simpan serbuk oleoresin biji pala hasil kristalisasi dilakukan dengan menggunakan metode ASLT (*Accelerated Shelf Life Testing*) dengan meliputi analisa kadar air, aktivitas air, *bulk density*, kemampuan pembasahan, dan aktivitas antioksidan. Penelitian dilakukan sebanyak 1 batch dengan pengulangan sebanyak 3 kali. Untuk analisa data menggunakan program SPSS (*Statistical Package for The Social Science*) for windows versi 26.

3.1. Kadar Air

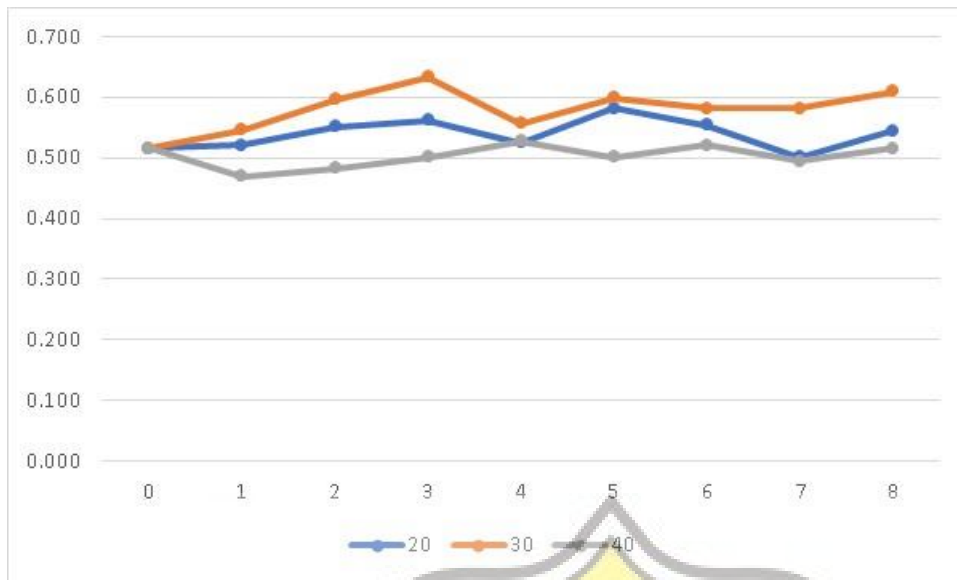
Hasil analisa kadar air kristalisasi oleoresin biji pala selama proses penyimpanan dapat dilihat pada Tabel 1. Analisa ini menggunakan *moisture balance*.

Tabel 1. Kadar Air Kristalisasi Oleoresin Biji Pala Selama Proses Penyimpanan pada Berbagai Suhu

Waktu Penyimpanan (minggu)	Kadar Air (%)		
	20°C	30°C	40°C
0	1.675±0.074 ^{a,B}	1.675±0.074 ^{a,C}	1.675±0.074 ^{a,A}
1	1.683±0.095 ^{a,B}	1.727±0.055 ^{ab,C}	1.600±0.010 ^{a,A}
2	1.735±0.145 ^{a,B}	1.815±0.005 ^{ab,C}	1.620±0.192 ^{a,A}
3	1.753±0.055 ^{a,B}	1.883±0.095 ^{b,C}	1.650±0.050 ^{a,A}
4	1.690±0.100 ^{a,B}	1.745±0.145 ^{ab,C}	1.695±0.105 ^{a,A}
5	1.790±0.100 ^{a,B}	1.820±0.052 ^{ab,C}	1.650±0.080 ^{a,A}
6	1.740±0.150 ^{a,B}	1.790±0.090 ^{ab,C}	1.685±0.005 ^{a,A}
7	1.650±0.150 ^{a,B}	1.790±0.100 ^{ab,C}	1.640±0.050 ^{a,A}
8	1.725±0.025 ^{a,B}	1.840±0.150 ^{ab,C}	1.675±0.025 ^{a,A}

Keterangan:

- Semua nilai adalah *mean* ± standar deviasi
- Nilai dengan *superscript* lowercase menunjukkan perbedaan yang nyata antar minggu pada tingkat kepercayaan 95% dengan uji *One Way Anova*
- Nilai dengan *superscript* uppercase menunjukkan perbedaan yang nyata antar suhu penyimpanan pada tingkat kepercayaan 95% dengan uji *One Way Anova*



Gambar 1. Grafik Kadar Air Enkapsulasi Oleoresin Biji Pala

Dalam Tabel 1. dicantumkan hasil *mean* penelitian kadar air dengan standar deviasi antar ulangan. Pada suhu 20°C terdapat peningkatan kadar air, W0 1.675% dan pada W8 1.725%. Pada suhu 30°C terdapat peningkatan kadar air, W0 1.675% dan W8 1.840%. Suhu 40°C terdapat peningkatan, W0 1.675% dan W8 1.675%. Pada suhu 20°C, 30°C, dan 40°C selama 8 minggu penyimpanan tidak terjadi beda nyata, sedangkan perlakuan perbedaan suhu penyimpanan memiliki perbedaan nyata antar suhu. Suhu 20°C berbeda nyata dengan suhu 30°C dan 40°C, begitu pula pada suhu 30°C berbeda nyata dengan suhu 20°C dan 40°C, suhu 40°C juga berbeda nyata dengan suhu 20°C dan 30°C. Pada gambar 1. terdapat kenaikan *trendline*, peningkatan tertinggi terdapat pada suhu 40°C dan yang terendah pada suhu 20°C.

3.2. Aktivitas Air

Hasil analisa aktivitas air kristalisasi oleoresin biji pala selama proses penyimpanan dapat dilihat pada Tabel 2.

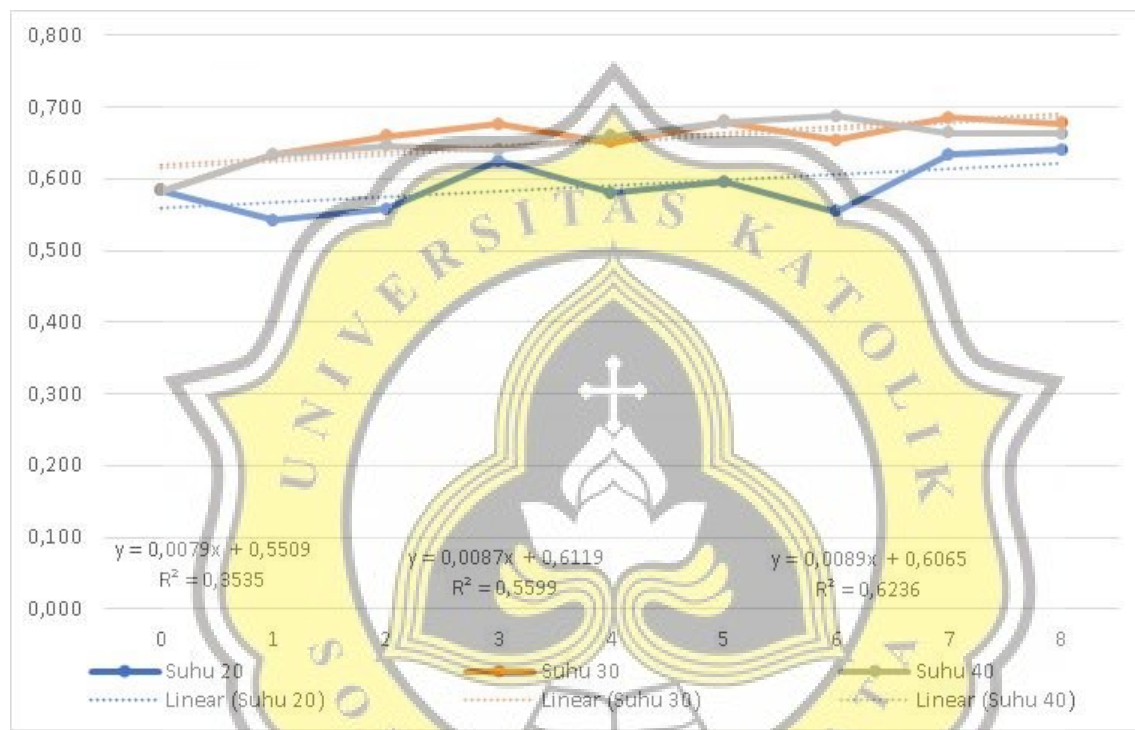
Tabel 2. Aktivitas Air Kristalisasi Oleoresin Biji Pala Selama Proses Penyimpanan pada Berbagai Suhu

Waktu Penyimpanan (minggu)	Aktivitas Air		
	20°C	30°C	40°C
0	0.583±0.003 ^{c,A}	0.583±0.003 ^{a,B}	0.583±0.003 ^{a,B}
1	0.542±0.011 ^{a,A}	0.634±0.011 ^{b,B}	0.634±0.011 ^{b,B}
2	0.557±0.010 ^{b,A}	0.659±0.008 ^{c,B}	0.646±0.001 ^{bc,B}
3	0.625±0.009 ^{c,A}	0.676±0.003 ^{d,B}	0.640±0.008 ^{bc,B}
4	0.573±0.001 ^{c,A}	0.651±0.006 ^{c,B}	0.660±0.003 ^{bcd,B}

5	0.596±0.002 ^{d,A}	0.679±0.002 ^{d,B}	0.679±0.042 ^{d,B}
6	0.555±0.007 ^{b,A}	0.654±0.004 ^{c,B}	0.688±0.001 ^{d,B}
7	0.634±0.007 ^{ef,A}	0.686±0.004 ^{d,B}	0.664±0.005 ^{cd,B}
8	0.640±0.005 ^{f,A}	0.677±0.006 ^{d,B}	0.663±0.003 ^{cd,B}

Keterangan:

- Semua nilai adalah *mean* ± standar deviasi
- Nilai dengan *superscript* lowercase menunjukkan perbedaan yang nyata antar minggu pada tingkat kepercayaan 95% dengan uji *One Way Anova*
- Nilai dengan *superscript* uppercase menunjukkan perbedaan yang nyata antar suhu penyimpanan pada tingkat kepercayaan 95% dengan uji *One Way Anova*



Gambar 2. Grafik Aktivitas Air Enkapsulasi Oleoresin Biji Pala

Pada Tabel 2. dicantumkan hasil *mean* penelitian aktivitas air dengan standar deviasi antar ulangan. Pada suhu 20°C terdapat peningkatan aktivitas air, W0 0.583 dan pada W8 0.640. Pada suhu 30°C terdapat peningkatan aktivitas air, W0 0.583 dan W8 0.677. Suhu 40°C terdapat peningkatan, W0 0.593 dan W8 0.663. Pada suhu 20°C, 30°C, dan 40°C selama 8 minggu penyimpanan terjadi beda nyata. Perlakuan perbedaan suhu penyimpanan memiliki perbedaan nyata antar suhu. Suhu 20°C berbeda nyata dengan suhu 40°C, pada suhu 30°C berbeda nyata dengan suhu 20°C, tetapi pada suhu 30°C dan 40°C tidak ada perbedaan nyata. Pada gambar 2. terdapat kenaikan *trendline*, peningkatan tertinggi terdapat pada suhu 40°C dan yang terendah pada suhu 20°C.

3.3. Bulk Density

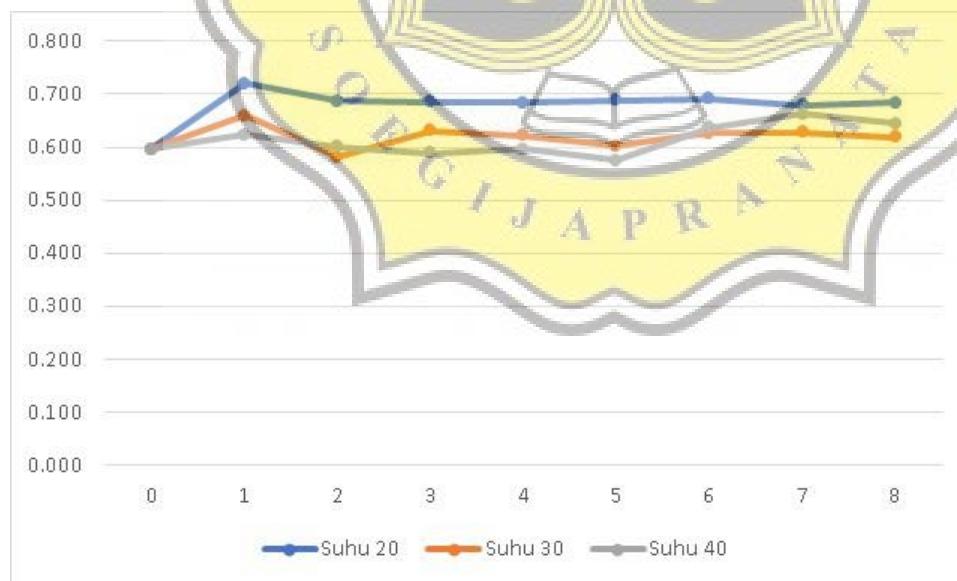
Hasil analisa *bulk density* kristalisasi oleoresin biji pala selama proses penyimpanan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Bulk Density Kristalisasi Oleoresin Biji Pala Selama Proses Penyimpanan pada Berbagai Suhu

Waktu Penyimpanan (minggu)	Bulk Density (gr/ml)		
	20°C	30°C	40°C
0	0.597±0.004 ^{a,B}	0.597±0.004 ^{ab,A}	0.597±0.004 ^{ab,A}
1	0.720±0.001 ^{b,B}	0.660±0.020 ^{d,A}	0.623±0.005 ^{bc,A}
2	0.687±0.042 ^{b,B}	0.581±0.015 ^{a,A}	0.601±0.001 ^{ab,A}
3	0.686±0.034 ^{b,B}	0.631±0.003 ^{c,A}	0.589±0.034 ^{a,A}
4	0.684±0.041 ^{b,B}	0.621±0.005 ^{bc,A}	0.597±0.018 ^{ab,A}
5	0.688±0.041 ^{b,B}	0.602±0.013 ^{abc,A}	0.575±0.015 ^{a,A}
6	0.692±0.041 ^{b,B}	0.627±0.017 ^{bc,A}	0.637±0.005 ^{cd,A}
7	0.679±0.009 ^{b,B}	0.628±0.028 ^{bc,A}	0.662±0.010 ^{d,A}
8	0.684±0.005 ^{b,B}	0.619±0.022 ^{bc,A}	0.645±0.007 ^{cd,A}

Keterangan:

- Semua nilai adalah *mean* ± standar deviasi
- Nilai dengan *superscript* lowercase menunjukkan perbedaan yang nyata antar minggu pada tingkat kepercayaan 95% dengan uji *One Way Anova*
- Nilai dengan *superscript* uppercase menunjukkan perbedaan yang nyata antar suhu penyimpanan pada tingkat kepercayaan 95% dengan uji *One Way Anova*



Gambar 3. Grafik Bulk Density Enkapsulasi Oleoresin Biji Pala

Pada Tabel 3. dicantumkan hasil *mean* penelitian *bulk density* dengan standar deviasi antar ulangan. Pada suhu 20°C terdapat peningkatan *bulk density*, W0 0.597 dan pada W8 0.684.

Pada suhu 30°C terdapat peningkatan pada tiap minggunya, W0 0.597 dan W8 0.619. Suhu 40°C terdapat peningkatan, W0 0.597 dan W8 0.645. Pada suhu 20°C, 30°C, dan 40°C selama 8 minggu penyimpanan terjadi beda nyata. Perlakuan perbedaan suhu penyimpanan memiliki perbedaan nyata antar suhu. Suhu 20°C berbeda nyata dengan suhu 30°C dan suhu 40°C, tetapi pada suhu 30°C dan 40°C tidak ada perbedaan nyata. Pada gambar 5. terdapat kenaikan *trendline*, peningkatan tertinggi terdapat pada suhu 40°C dan yang terendah pada suhu 20°C.

3.4. Kemampuan Pembasahan

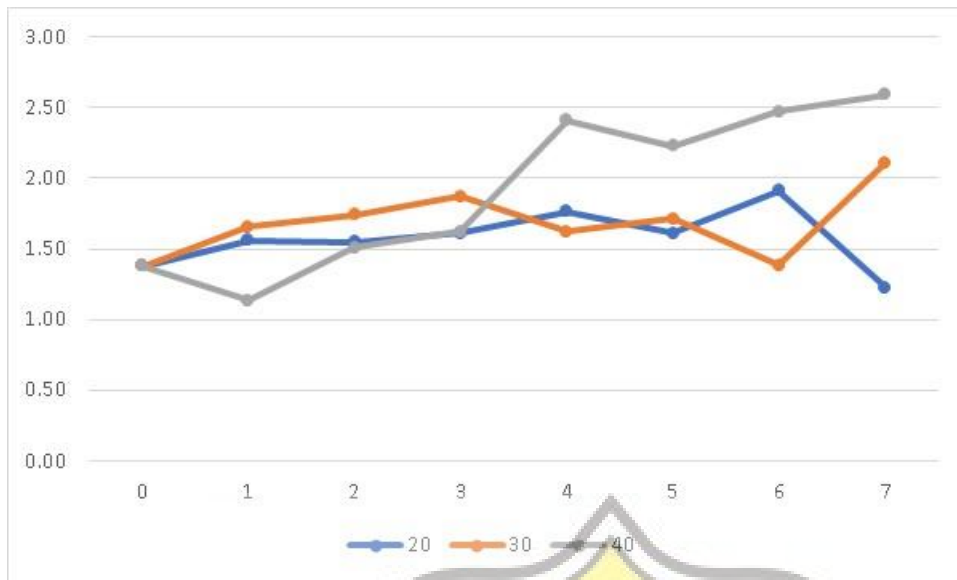
Hasil analisa kemampuan pembasahan kristalisasi oleoresin biji pala selama proses penyimpanan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kemampuan Pembasahan Kristalisasi Oleoresin Biji Pala Selama Proses Penyimpanan pada Berbagai Suhu

Waktu Penyimpanan (minggu)	Kemampuan Pembasahan (detik)		
	20°C	30°C	40°C
0	1.38±0.216 ^{a,A}	1.38±0.216 ^{ab,AB}	1.38±0.216 ^{a,B}
1	1.56±0.332 ^{abc,A}	1.65±0.218 ^{ab,AB}	1.13±0.162 ^{a,B}
2	1.55±0.392 ^{abc,A}	1.74±0.334 ^{ab,AB}	1.51±0.473 ^{ab,B}
3	1.61±0.026 ^{abc,A}	1.87±0.190 ^{bc,AB}	1.62±0.155 ^{ab,B}
4	1.76±0.166 ^{bc,A}	1.62±0.146 ^{ab,AB}	2.41±0.450 ^{c,B}
5	1.61±0.036 ^{abc,A}	1.71±0.092 ^{ab,AB}	2.23±0.095 ^{bc,B}
6	1.91±0.234 ^{c,A}	1.39±0.142 ^{a,AB}	2.47±0.575 ^{c,B}
7	1.22±0.093 ^{a,A}	2.11±0.119 ^{c,AB}	2.59±0.707 ^{c,B}

Keterangan:

- Semua nilai adalah *mean* ± standar deviasi
- Nilai dengan *superscript* lowercase menunjukkan perbedaan yang nyata antar minggu pada tingkat kepercayaan 95% dengan uji *One Way Anova*
- Nilai dengan *superscript* uppercase menunjukkan perbedaan yang nyata antar suhu penyimpanan pada tingkat kepercayaan 95% dengan uji *One Way Anova*



Gambar 4. Grafik Kemampuan Pembasahan Enkapsulasi Oleoresin Biji Pala

Pada Tabel 4. dicantumkan hasil *mean* penelitian kemampuan pembasahan dengan standar deviasi antar ulangan. Pada suhu 20°C terdapat peningkatan kemampuan pembasahan, W0 1.44s dan pada W7 2.59s. Pada suhu 30°C terdapat fluktuasi pada tiap minggunya, W0 1.14s dan W7 1.22s, namun titik tertinggi ada pada W6 yaitu 1.91s. Suhu 40°C terdapat peningkatan, W0 1.56s dan W7 2.11s. Pada suhu 20°C, 30°C, dan 40°C selama 8 minggu penyimpanan terjadi beda nyata. Perlakuan perbedaan suhu penyimpanan memiliki perbedaan nyata antar suhu. Suhu 20°C berbeda nyata dengan suhu 30°C, tetapi pada suhu 30°C dengan suhu 20°C dan 40°C tidak ada perbedaan nyata. Pada gambar 4. terdapat kenaikan *trendline*, peningkatan tertinggi terdapat pada suhu 40°C dan yang terendah pada suhu 20°C.

3.5. Aktivitas Antioksidan

Hasil analisa kemampuan pembasahan kristalisasi oleoresin biji pala selama proses penyimpanan dapat dilihat pada Tabel 5.

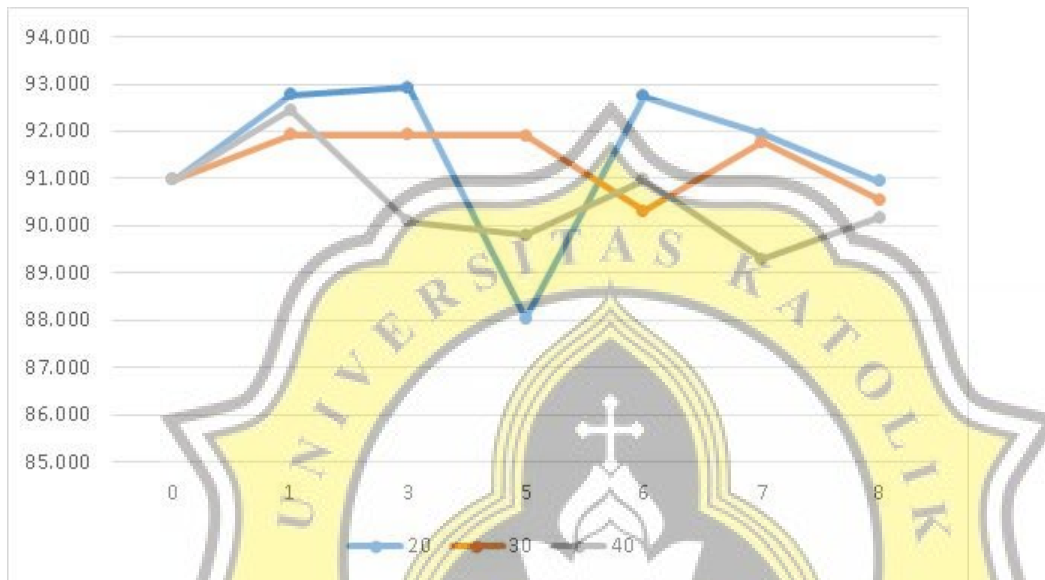
Tabel 5. Aktivitas Antioksidan Kristalisasi Oleoresin Biji Pala Selama Proses Penyimpanan pada Berbagai Suhu

Waktu Penyimpanan (minggu)	Aktivitas Antioksidan (%)		
	20°C	30°C	40°C
0	90.969±0.434 ^{b,B}	90.969±0.434 ^{a,AB}	90.969±0.434 ^{b,A}
1	92.779±1.258 ^{b,B}	91.920±2.410 ^{a,AB}	92.445±0.102 ^{c,A}
3	92.920±0.885 ^{b,B}	91.913±0.135 ^{a,AB}	90.079±0.619 ^{ab,A}
5	88.031±2.132 ^{a,B}	91.909±1.445 ^{a,AB}	89.803±1.367 ^{ab,A}
6	92.743±0.470 ^{a^b,B}	90.309±1.231 ^{a,AB}	90.973±0.501 ^{b,A}

7	91.945±0.608 ^{b,B}	91.767±0.229 ^{a,AB}	89.294±0.275 ^{a,A}
8	90.937±0.246 ^{b,B}	90.547±0.012 ^{a,AB}	90.179±0.204 ^{ab,A}

Keterangan:

- Semua nilai adalah *mean* ± standar deviasi
- Nilai dengan *superscript* lowercase menunjukkan perbedaan yang nyata antar minggu pada tingkat kepercayaan 95% dengan uji *One Way Anova*
- Nilai dengan *superscript* uppercase menunjukkan perbedaan yang nyata antar suhu penyimpanan pada tingkat kepercayaan 95% dengan uji *One Way Anova*



Gambar 5. Grafik Aktivitas Antioksidan Enkapsulasi Oleoresin Biji Pala

Pada Tabel 5. dicantumkan hasil *mean* penelitian aktivitas antioksidan dengan standar deviasi antar ulangan. Pada suhu 20°C terdapat fluktuasi aktivitas antioksidan, W0 90.969% dan pada W8 90.937%, pada W3 merupakan titik tertinggi dengan aktivitas antioksidan 92.920%. Pada suhu 30°C terdapat penurunan pada tiap minggunya, W0 90.969% dan W8 90.547%. Suhu 40°C terdapat penurunan, W0 90.969% dan W8 90.179%. Pada suhu 20°C, 30°C, dan 40°C selama 8 minggu penyimpanan terjadi beda nyata. Perlakuan perbedaan suhu penyimpanan antara suhu 20°C dan 40°C memiliki perbedaan nyata antar suhu, suhu 30°C tidak memiliki perbedaan nyata terhadap suhu 20°C dan 40°C. Pada gambar 5. terdapat fluktuasi titik garis linear, namun pada ketiga suhu *trendline* menunjukkan penurunan.

3.6. Korelasi Antar Parameter

Tabel 6. Korelasi Antar Uji

Parameter	Kadar Air	Aktivitas Air (a_w)	<i>Bulk Density</i>
Kadar Air	1	0.181	0.030
Aktivitas Air (a_w)	0.181	1	-0.439**
<i>Bulk Density</i>	0.030	-0.439**	1

Keterangan :

- Semua nilai merupakan r tabel hasil uji korelasi pearson (2-tailed)
- Nilai dengan(*) menunjukkan korelasi signifikan pada tingkat kepercayaan 95% (α 0,05)
- Nilai dengan(**) menunjukkan korelasi signifikan pada tingkat kepercayaan 99% (α 0,01)

Pada tabel 6. dapat dilihat hasil pengujian korelasi antar parameter kadar air, aktivitas air dan *bulk density*. Korelasi parameter kadar air dan aktivitas air menunjukkan nilai positif sehingga dapat disimpulkan bahwa uji kadar air dengan uji aktivitas air memiliki perbandingan lurus dengan tingkat kepercayaan 99%. Korelasi antara *bulk density* dengan kadar air dan aktivitas air memiliki nilai negatif, ini menunjukkan adanya hubungan berbanding terbalik antara *bulk density* dengan kadar air dan aktivitas air.

3.7. Analisa Umur Simpan

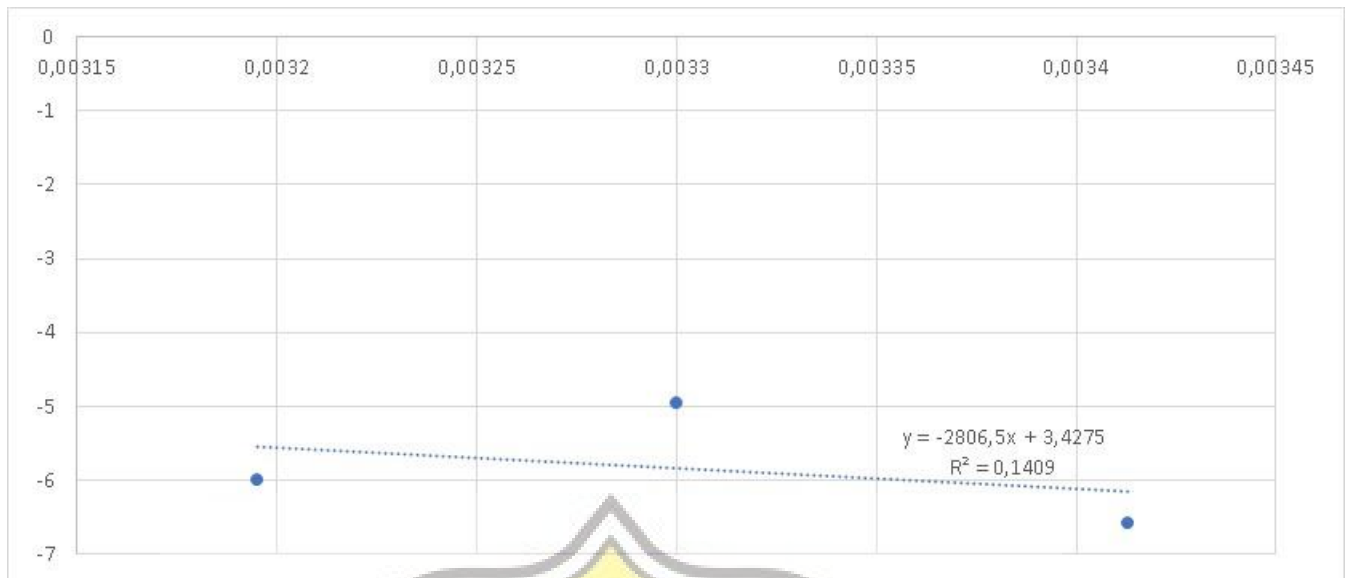
Tabel 7. Persamaan Linear Ordo 0 dan Ordo 1 Kadar Air Selama Penyimpanan

SUHU (°C)	ORDO 0		ORDO 1	
	PERSAMAAN GARIS	R ²	PERSAMAAN GARIS	R ²
20	$y = 0.0024x + 1.7035$	0.0229	$y = 0.0014x + 0.5352$	0.0222
30	$y = 0.0123x + 1.7258$	0.2833	$y = 0.0070x + 0.5449$	0.2930
40	$y = 0.0042x + 1.6336$	0.1332	$y = 0.0025x + 0.4906$	0.1350
Total R ²		0.4394		0.4502

Pada Tabel 7. dapat dilihat persamaan linear dan nilai total R² dari ordo 0 dan ordo 1. Nilai total R² ordo 1 lebih tinggi dibandingkan dengan ordo 0, sehingga digunakan persamaan linear ordo 1. Nilai k dan ln K dapat dilihat pada Tabel 8. dan Gambar 6.

Tabel 8.

Suhu	K1	1/K	k	ln k
20	293	0.003413	0.0014	-6.57128
30	303	0.0033	0.0070	-4.96185
40	313	0.003195	0.0025	-5.99146



Gambar 6. Hubungan Antara Suhu Penyimpanan dan Nilai $\ln k$ kadar air Enkapsulasi Oleoresin Biji Pala

Pada Gambar 6. memperlihatkan relasi antar suhu penyimpanan dengan laju reaksi dari ordo 1. Relasi ini menghasilkan persamaan linear $y = -2806.5x + 3.4275$. Nilai R^2 yang didapatkan adalah 0.1409. Persamaan linear digunakan untuk menentukan umur simpan produk kristalisasi oleoresin biji pala pada tiap suhu penyimpanan.

Tabel 9. Persamaan Linear Ordo 0 dan Ordo 1 Aktivitas Air Selama Penyimpanan

SUHU (°C)	ORDO 0		ORDO 1	
	PERSAMAAN GARIS	R^2	PERSAMAAN GARIS	R^2
20	$y = 0.0079x + 0.5509$	0.3535	$y = 0.0132x - 0.5948$	0.3468
30	$y = 0.0087x + 0.6119$	0.5599	$y = 0.0137x - 0.4918$	0.5536
40	$y = 0.0089x + 0.6065$	0.6236	$y = 0.0139x - 0.5003$	0.6187
Total R^2		1.5370		1.5191

Pada Tabel 9. dapat dilihat persamaan linear dan nilai total R^2 dari ordo 0 dan ordo 1. Nilai total R^2 ordo 0 lebih tinggi dibandingkan dengan ordo 1, sehingga digunakan persamaan linear ordo 0. Nilai k dan $\ln K$ dapat dilihat pada Tabel 10. dan Gambar 6.

Tabel 10.

T	K	1/K	k	$\ln k$
20	293	0.00341296928327645	0.0079	-4.84089251950916
30	303	0.00330033003300330	0.0087	-4.74443225332160

40

313

0.00319488817891374

0.0089

-4.72170400224404



Gambar 7. Hubungan Antara Suhu Penyimpanan dan Nilai $\ln k$ aktivitas air Enkapsulasi Oleoresin Biji Pala

Pada Gambar 7. memperlihatkan relasi antar suhu penyimpanan dengan laju reaksi dari ordo 0. Relasi ini menghasilkan persamaan linear $y = -550.05x - 2.9523$. Nilai R^2 yang didapatkan adalah 0.8987. Persamaan linear digunakan untuk menentukan umur simpan produk kristalisasi oleoresin biji pala pada tiap suhu penyimpanan.

Tabel 11. Penentuan Umur Simpan Enkapsulat Oleoresin Biji Pala

Parameter Mutu	SUHU (°C)	K	UMUR (minggu)	SIMPAN
Kadar Air	20	0.002131352992	273.4409202	
	30	0.002923785092	199.3304	
	40	0.0039306374150	148.2709	
Aktivitas Air	20	0.00798968652	2.12743055	
	30	0.00850036194	2	
	40	0.00900794563	1.887222757	

Pada Tabel 11. dapat dilihat umur simpan dari hasil kristalisasi oleoresin biji pala menurut mutu kadar air dan mutu aktivitas air. Untuk parameter mutu kadar air, hasil kristalisasi oleoresin biji pala pada suhu 20°C dapat disimpan hingga 274 minggu, pada suhu 30°C dapat disimpan hingga 200 minggu, dan untuk suhu 40°C dapat disimpan hingga 149 minggu. Untuk parameter mutu aktivitas air, pada suhu 20°C dapat disimpan hingga 3 minggu, untuk suhu 30°C dapat disimpan hingga 2 minggu, dan untuk suhu 40°C dapat disimpan hingga 2 minggu.

Tabel 12. Nilai energi aktivasi

Parameter Uji	Slope (E_a/R)	Nilai Energi aktivasi
Kadar Air	-2806.5	5573.709 kkal/mol
Aktivitas Air	-550.05	1092.3993 kkal/mol

Pada Tabel 12. dapat dilihat nilai energi aktivasi dari proses ASLT pada parameter uji kadar air dan aktivitas air. Untuk kadar air, energi aktivasi yang didapat adalah 5573.709 kkal/mol. Dan untuk aktivitas air, energi aktivasi yang didapat adalah 1092.3993 kkal/mol.

