

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data dan Analisis

4.1.1 Data Hasil Penelitian

Pada penelitian ini terdapat tiga variabel bebas yang digunakan dengan perlakuan yang berbeda yaitu, pengeringan tanpa proses pembekuan, penambahan proses pembekuan sebelum proses pengeringan, dan penambahan proses pembekuan di antara proses pengeringan. Setiap sampel yang dikeringkan dicek massanya setiap tiga menit sekali sampai penurunan massa telah mendekati konstan (penurunan massa di bawah 0,01 gram).

Sebelum melakukan pengambilan data, spesimen berupa labu kuning dihitung kadar airnya dengan menggunakan *moisture analyzer* dan diperoleh kadar air sebesar 90,23 % yang dihitung dengan menggunakan rumus kadar air berat basah menggunakan persamaan (2-1). Data hasil pengeringan berupa massa dan suhu di masukan kedalam *microsoft office excel* dan kemudian diolah sehingga mendapatkan grafik yang diinginkan.

4.1.2 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan untuk mencari nilai yang diperlukan dalam penelitian. Dalam pengolahan data disini memakai perhitungan kadar air berat kering (2-1) dan laju pengeringan (2-3). Contoh perhitungan dapat dilihat seperti berikut.

1. Kadar air (*Wet base moisture content*)

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{berat spesimen (g)} - \text{berat kering (g)}}{\text{berat spesimen (g)}} \times 100 \%$$

$$\text{Kadar air} = \frac{7,484 \text{ g} - 0,731 \text{ g}}{7,484 \text{ g}} \times 100\%$$

$$\text{Kadar air} = 90,23 \%$$

2. Laju Pengeringan (*drying rate*)

$$\bar{V} = \frac{\Delta m}{t}$$

$$\bar{V} = \frac{7,484 - 6,752}{3}$$

$$\bar{V} = 0,244 \text{ g/menit}$$

4.2 Data Hasil Perhitungan

Pengambilan data massa spesimen yang diambil setiap 3 menit sekali sampai mendekati konstan di masukan ke dalam *microsoft office excel* untuk kemudian diolah sehingga menghasilkan data seperti berikut.

Tabel 4.1

Data Massa, Penurunan Massa, Laju Pengeringan, Kadar Air, dan Temperatur Pengeringan Tanpa Proses Pembekuan

Waktu (Menit)	Massa (gram)	Penurunan Massa (gram)	Laju Pengeringan (gram/menit)	Kadar Air (%)	Temperatur	
					Luar (Celcius)	Dalam (Celcius)
0	7.484	0.000	0.000	90.23	26.5	27.1
3	6.752	0.732	0.244	89.18	29	28.8
6	6.094	0.658	0.219	88.01	28.5	29.5
9	5.884	0.210	0.070	87.58	29	28.8
12	4.766	1.118	0.373	84.67	29.5	29
15	3.216	1.550	0.517	77.28	28.5	28.3
18	2.770	0.446	0.149	73.62	28.5	28.5
21	2.438	0.332	0.111	70.02	29	28.7
24	2.208	0.230	0.077	66.90	30	29.2
27	1.870	0.338	0.113	60.92	29	28.6
30	1.414	0.456	0.152	48.32	29.5	30
33	1.236	0.178	0.059	40.87	29.5	29.4
36	1.062	0.174	0.058	31.18	30.5	30.2
39	0.976	0.086	0.029	25.12	30	30.4
42	0.908	0.068	0.023	19.51	30.5	29.3
45	0.858	0.050	0.017	14.82	30	29.1
48	0.832	0.026	0.009	12.16	29.5	29.4
51	0.808	0.024	0.008	9.55	30	29.6
53	0.794	0.014	0.005	7.96	30.5	29.7

Tabel 4.2

Data Massa, Penurunan Massa, Laju Pengeringan, Kadar Air, dan Temperatur Pengeringan dengan Penambahan Proses Pembekuan Sebelum Proses Pengeringan

Waktu (Menit)	Massa (gram)	Penurunan Massa (gram)	Laju Pengeringan (gram/menit)	Kadar Air (%)	Temperatur	
					Luar (Celcius)	Dalam (Celcius)
0	8.774	0.000	0.000	87.07	28.5	30.2
3	8.644	0.130	0.043	86.87	29	28.7
6	8.426	0.218	0.073	86.53	28.5	30
9	6.830	1.596	0.532	83.38	28	29.8
12	5.344	1.486	0.495	78.76	29	30.1
15	4.552	0.792	0.264	75.07	29	31.4
18	4.436	0.116	0.039	74.42	29	30
21	3.316	1.120	0.373	65.78	28.5	29.7
24	2.872	0.444	0.148	60.49	28.5	30.5
27	2.516	0.356	0.119	54.89	29.5	30
30	2.084	0.432	0.144	45.54	29	30.9
33	1.714	0.370	0.123	33.79	29	29.8
36	1.546	0.168	0.056	26.59	29.5	30.7
39	1.430	0.116	0.039	20.64	29	30.8
42	1.352	0.078	0.026	16.06	29	30.1
45	1.288	0.064	0.021	11.89	30.5	30
48	1.264	0.024	0.008	10.22	30	31.6
51	1.240	0.024	0.008	8.48	30	30.3
54	1.218	0.022	0.007	6.83	30	30.2
57	1.204	0.014	0.005	5.74	30	29.8

Tabel 4.3

Data Massa, Penurunan Massa, Laju Pengeringan, Kadar Air, dan Temperatur Pengeringan dengan Penambahan Proses Pembekuan di Antara Proses Pengeringan

Waktu (Menit)	Massa (gram)	Penurunan Massa (gram)	Laju Pengeringan (gram/menit)	Kadar Air (%)	Temperatur	
					Luar (Celcius)	Dalam (Celcius)
0	8.022	0.000	0.000	85.66	28.5	30.5
3	7.630	0.392	0.131	84.92	30.5	29
6	6.480	1.150	0.383	82.24	29.5	29.4
9	5.330	1.150	0.383	78.41	29.5	29.6
12	3.914	1.416	0.472	70.60	29.5	30.4
15	3.090	0.824	0.275	62.76	30	30.1
18	2.908	0.182	0.061	60.43	29.5	30.4
21	2.296	0.612	0.204	49.89	30.5	30.8
24	2.002	0.294	0.098	42.53	30	30.4
27	1.904	0.098	0.033	39.57	30.5	31
30	1.658	0.246	0.082	30.60	30.5	31.9
33	1.532	0.126	0.042	24.89	30	30.2
36	1.380	0.152	0.051	16.62	31.5	31.5
39	1.308	0.072	0.024	12.03	31.5	31.2
42	1.274	0.034	0.011	9.68	31	31.5
45	1.246	0.028	0.009	7.65	30.5	30.3
48	1.238	0.008	0.003	7.06	30.5	30.2
51	1.220	0.018	0.006	5.69	30.5	30
54	1.216	0.004	0.001	5.38	30.5	31

Tabel 4.4
Data Distribusi Kadar Air Tiap Waktu Tanpa Proses Pembekuan

Waktu (Menit)	Distribusi Kadar Air (%)		
	1	2	3
0	90.23	90.23	90.23
9	82.73	83.94	75.29
18	60.00	47.9	42.34
27	48.78	36.93	39.58
Akhir	9.04	8.04	6.79

Tabel 4.5
Data Distribusi Kadar Air Tiap Waktu dengan Penambahan Proses Pembekuan Sebelum Proses Pengeringan

Waktu (Menit)	Distribusi Kadar Air (%)		
	1	2	3
0	87.07	87.07	87.07
9	83.09	82.67	80.56
18	58.60	61.23	57.69
27	42.08	40.86	39.30
Akhir	9.14	1.84	6.25

Tabel 4.6
Data Distribusi Kadar Air Tiap Waktu dengan Penambahan Proses Pembekuan di Antara Proses Pengeringan

Waktu (Menit)	Distribusi Kadar Air (%)		
	1	2	3
0	85.66	85.66	85.66
9	83.27	80.57	81.72
18	64.93	51.21	57.89
27	43.06	38.3	42.38
Akhir	3.70	8.95	3.48

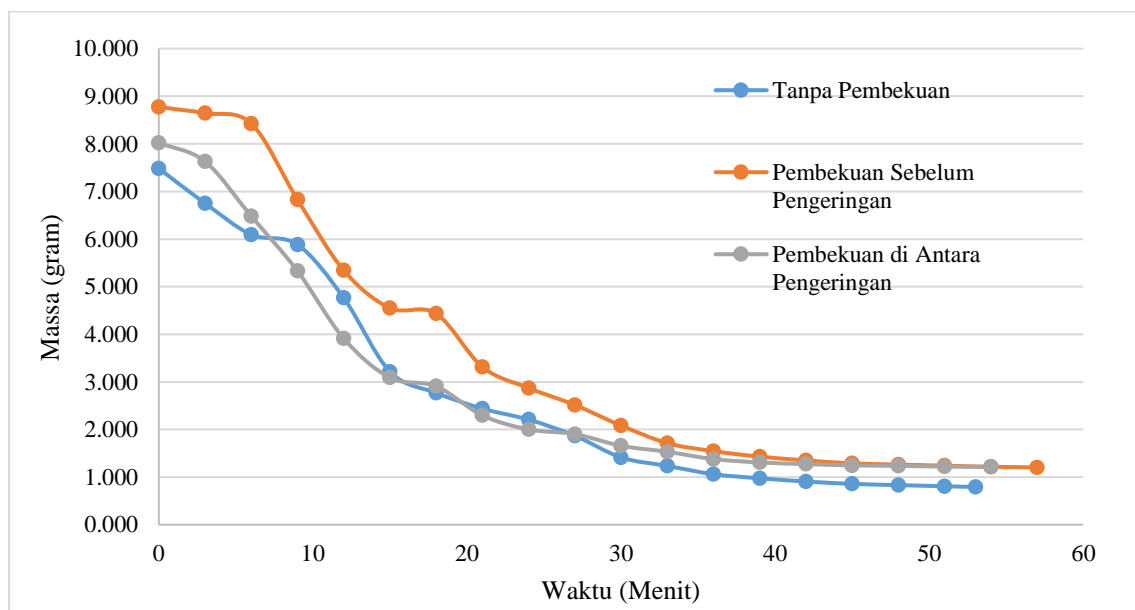
4.3 Grafik dan Pembahasan

4.3.1 Analisis Hubungan Massa tiap Variasi terhadap Waktu

Gambar 4.1 menunjukkan penurunan massa spesimen tiap menit. Berkurangnya massa pada spesimen berbanding lurus dengan berkurangnya kadar air pada spesimen, dimana sesuai dengan persamaan (2-1) yang menyatakan bahwa berkurangnya massa spesimen menandakan hilangnya kadar air yang berada di dalam spesimen.

Grafik memperlihatkan bahwa waktu yang dibutuhkan paling sedikit oleh massa spesimen untuk mencapai titik konstan terjadi pada variasi tanpa penambahan proses pembekuan. Pada menit 0 sampai menit ke 9 terlihat bahwa pada pengeringan tanpa penambahan proses pembekuan mengalami penurunan yang lebih cepat dibandingkan dengan adanya penambahan proses pembekuan baik sebelum maupun diantara proses pengeringan, sedangkan pada menit-menit akhir, penurunan massa spesimen cenderung konstan pada setiap variasi dimana hal ini disebabkan karena semakin sedikitnya jumlah air yang dikeluarkan dari dalam spesimen.

Penurunan massa yang lambat di menit-menit awal pada variasi penambahan proses pembekuan baik sebelum maupun diantara proses pengeringan disebabkan karena panas yang dihasilkan oleh gelombang mikro terlebih dahulu digunakan untuk mencairkan kristal es yang terkandung pada spesimen, sehingga waktu yang dibutuhkan oleh massa spesimen untuk mencapai titik konstan cenderung lebih panjang dibandingkan dengan pengeringan tanpa penambahan proses pembekuan.

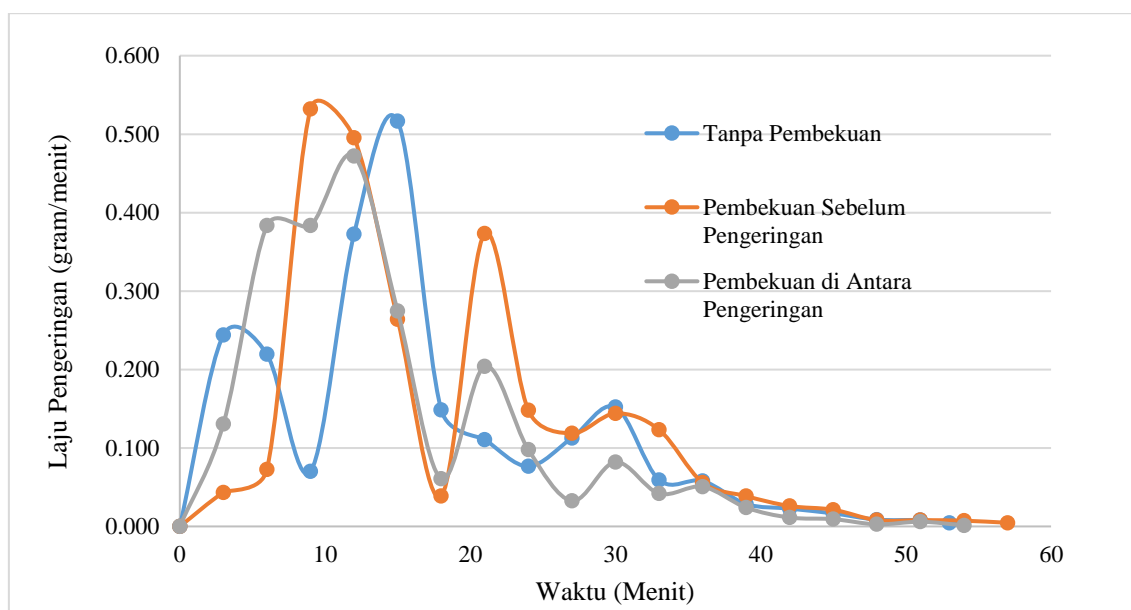


Gambar 4.1 Hubungan massa tiap variasi terhadap waktu pada beda variasi tanpa pembekuan, pembekuan sebelum pengeringan, dan pembekuan di antara pengeringan

4.3.2 Analisis Hubungan Laju Pengeringan tiap Variasi terhadap Waktu

Sesuai dengan persamaan (2-3), laju pengeringan didefinisikan sebagai banyaknya massa yang diuapkan tiap satuan waktu. Gambar 4.2 menunjukkan bahwa laju pengeringan pada menit-menit akhir cenderung konstan sedangkan bernilai tinggi di awal proses pengeringan. Hal ini dikarenakan semakin berkurangnya massa mengakibatkan perbedaan konsentrasi yang ada pada lingkungan dan spesimen semakin kecil sehingga menyebabkan laju pengeringan semakin rendah.

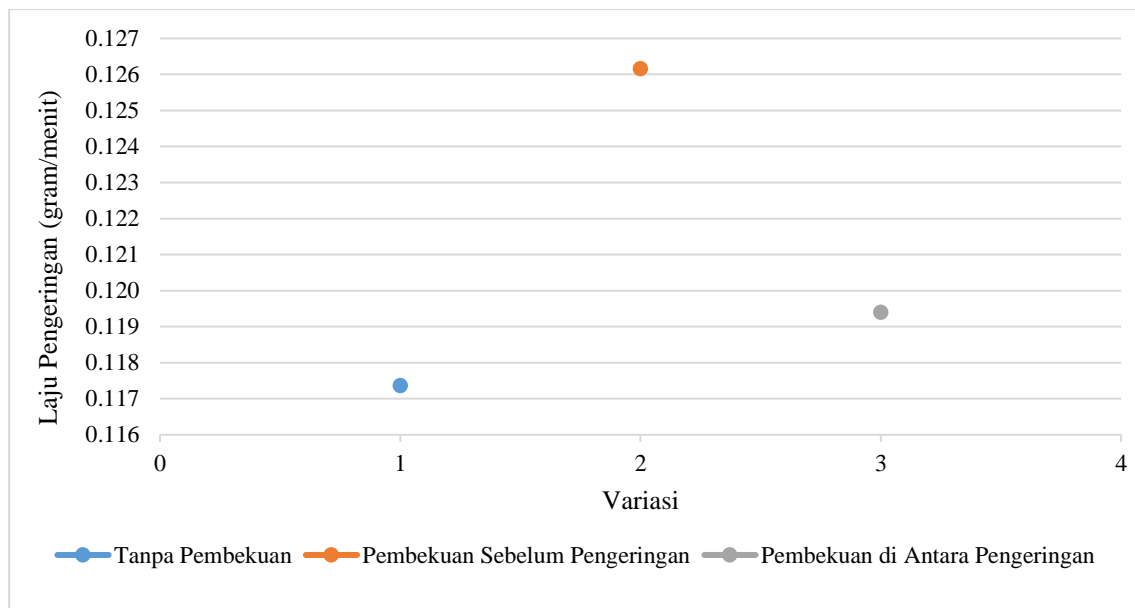
Bila dilihat pada grafik, laju pengeringan cenderung tidak selalu menurun secara konstan. Hal ini dikarenakan terjadi peristiwa anomali air akibat adanya proses pencairan pada spesimen dari kondisi beku, dimana sesuai dengan Gambar 2.9 dan persamaan (2-2) bahwa molekul air memiliki volume terkecil dan massa jenis (densitas) terbesar dalam siklusnya. Akibat kenaikan densitas menyebabkan terjadinya penurunan laju difusi yang akan mengakibatkan air sulit untuk berdifusi ke permukaan spesimen untuk diuapkan sehingga dapat menurunkan laju pengeringan.



Gambar 4.2 Hubungan laju pengeringan tiap variasi terhadap waktu pada beda variasi tanpa pembekuan, pembekuan sebelum pengeringan, dan pembekuan di antara pengeringan

Terlihat dalam Gambar 4.3 bahwa rata-rata laju pengeringan tertinggi terjadi pada variasi penambahan proses pembekuan sebelum proses pengeringan dan terendah terjadi pada variasi pengeringan tanpa penambahan proses pembekuan. Hal ini dikarenakan adanya celah kecil yang timbul pada spesimen yang mengalami proses pembekuan baik sebelum maupun di antara proses pengeringan seperti yang terlihat pada Gambar 2.7 dan Gambar 2.8 sehingga dapat mempercepat laju pengeringan.

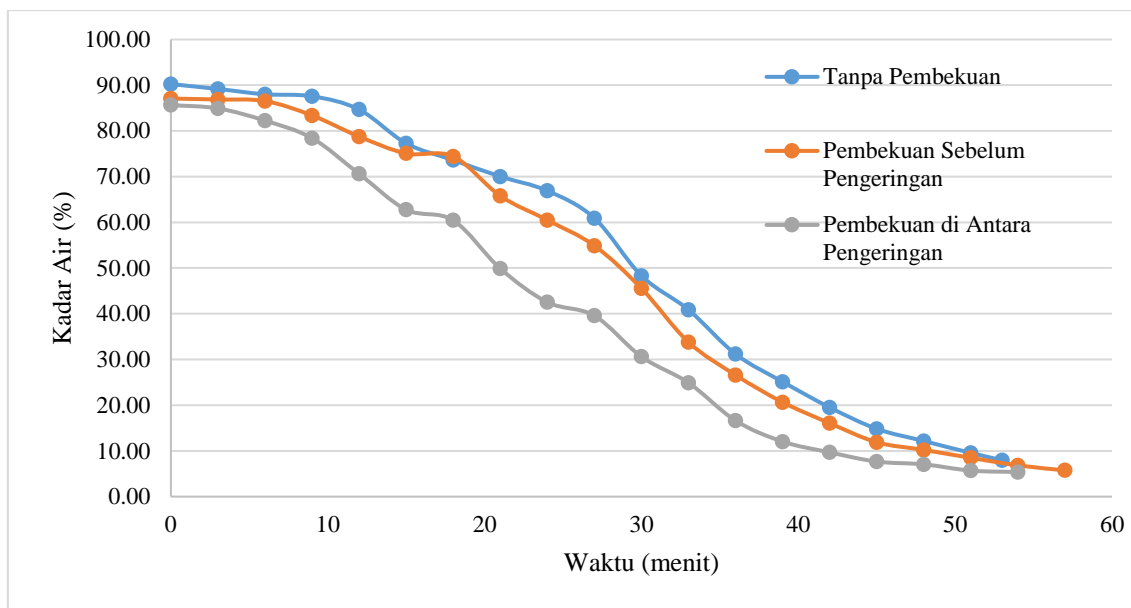
Dapat dilihat pula bahwa proses pembekuan sebelum pengeringan memiliki laju pengeringan yang lebih tinggi dibandingkan dengan proses pembekuan diantara pengeringan. Hal ini terjadi akibat proses pembekuan sebelum proses pengeringan menyebabkan timbulnya celah pada bagian dalam spesimen seperti terlihat pada Gambar 2.7, sehingga dapat mempercepat air menuju permukaan spesimen untuk diuapkan. Lain halnya dengan spesimen dengan proses pembekuan di antara proses pengeringan dimana celah timbul pada bagian permukaan spesimen seperti terlihat pada Gambar 2.8, sehingga sebagian air yang masih berada pada bagian dalam spesimen perlu mencari jalan terlebih dahulu menuju permukaan spesimen untuk diuapkan.



Gambar 4.3 Rata-rata laju pengeringan pada beda variasi (1) tanpa pembekuan, (2) pembekuan sebelum pengeringan, dan (3) pembekuan di antara pengeringan

4.3.3 Analisis Hubungan Kadar Air tiap Variasi terhadap Waktu

Persamaan (2-1) menunjukkan bahwa berkurangnya massa pada suatu spesimen berbanding lurus dengan penurunan kadar air pada spesimen tersebut. Dapat dilihat melalui Gambar 4.4, dimana penurunan kadar air pada menit-menit awal pengujian cenderung terjadi secara besar namun akan menjadi lebih sedikit di menit-menit akhir. Hal ini dapat terjadi karena seiring dengan bertambahnya waktu pengujian maka banyaknya air yang akan diuapkan akan semakin berkurang sehingga penurunan kadar air akan semakin sedikit di menit-menit akhir pengujian. Gambar 4.4 menunjukkan bahwa penurunan kadar air tertinggi terjadi pada spesimen yang mengalami proses pembekuan diantara proses pengeringan dibandingkan dengan kedua pengujian lainnya.

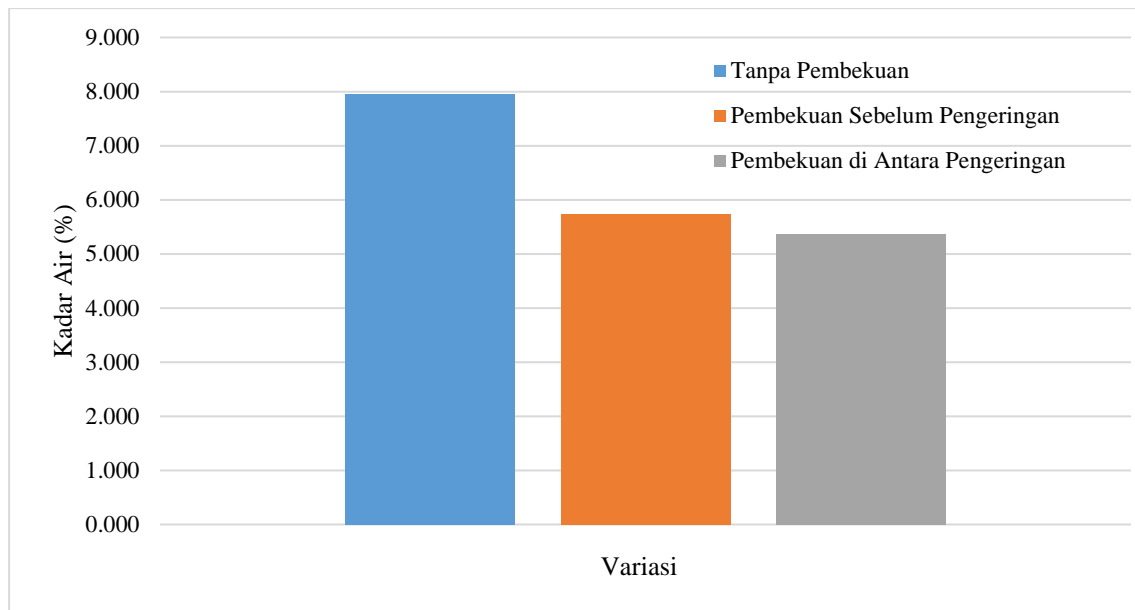


Gambar 4.4 Hubungan kadar air tiap variasi terhadap waktu pada beda variasi tanpa pembekuan, pembekuan sebelum pengeringan, dan pembekuan di antara pengeringan

Dengan nilai kadar air awal yang diperoleh melalui *moisture analyzer* maka akan didapat massa air awal serta massa kering spesimen tersebut. Setiap 3 menit massa spesimen tersebut akan diukur sehingga diperoleh nilai kadar air spesimen dengan cara mengurangi massa spesimen sesaat setelah dikeringkan dengan massa kering spesimen tersebut.

Pada Gambar 4.5 dapat terlihat bila rata-rata kadar air akhir spesimen terendah berada pada variasi proses pengeringan dengan penambahan pembekuan diantara proses pengeringan, sedangkan rata-rata kadar air akhir tertinggi terdapat pada pengeringan tanpa penambahan proses pembekuan. Hal ini disebabkan karena dengan adanya proses pembekuan diantara proses pengeringan akan menimbulkan celah pada bagian permukaan spesimen (*extracelullar*) seperti yang terlihat pada Gambar 2.8, sehingga kandungan air yang terdapat pada spesimen dapat dengan lebih mudah terdifusi menuju lingkungan.

Gambar 4.5 juga menunjukkan bahwa penambahan proses pembekuan sebelum proses pengeringan memiliki kadar air akhir yang lebih banyak dibandingkan dengan penambahan proses pembekuan diantara proses pengeringan. Hal ini dapat terjadi karena dengan adanya penggunaan *microwave* sebelum pembekuan pada pengujian penambahan proses pembekuan diantara pengeringan menyebabkan sebagian molekul air telah berada pada bagian permukaan spesimen akibat terdesak oleh gelombang mikro sebelum terkristalisasi akibat adanya proses pembekuan tersebut, lain halnya dengan penambahan proses pembekuan sebelum pengeringan seperti terlihat pada Gambar 2.7 yang menyebabkan celah lebih banyak terjadi pada bagian dalam spesimen.



Gambar 4.5 Rata-rata kadar air akhir pada beda variasi tanpa pembekuan, pembekuan sebelum pengeringan, dan pembekuan di antara pengeringan

4.3.4 Analisis Hubungan Distribusi Kadar Air tiap Variasi terhadap Waktu

Gambar 4.6 a, 4.6 b, dan 4.6 c memperlihatkan distribusi kadar air setiap menitnya, dimana nomor 2 menunjukkan bagian tengah spesimen sedangkan nomor 1 dan 3 menunjukkan bagian permukaan spesimen.

Dapat dilihat bahwa distribusi kadar air pada setiap spesimen cenderung tidak merata. Hal ini dikarenakan karena kurangnya intensitas dari gelombang mikro yang hanya memiliki daya sebesar 40 Watt sehingga tidak mampu menembus ke bagian dalam spesimen yang menyebabkan distribusi kadar air menjadi tidak merata.

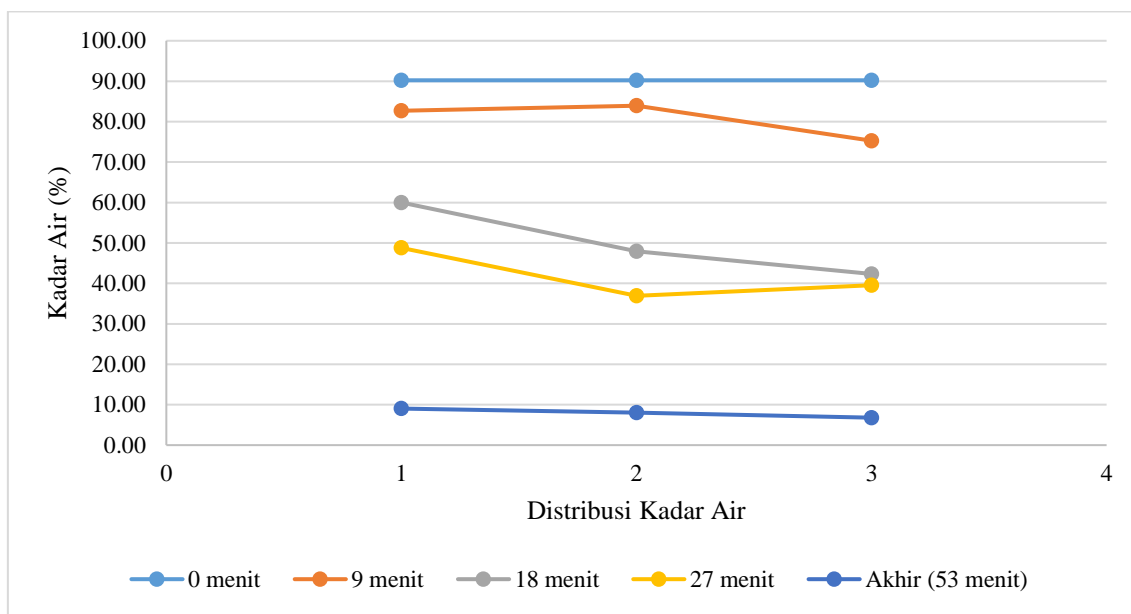
Setiap variasi rata-rata menunjukkan hasil kadar air yang lebih sedikit pada bagian tengah. Hal ini dapat terjadi karena getaran yang dimiliki oleh gelombang mikro memiliki sifat mampu menembus spesimen yang menyebabkan terdorongnya molekul air menuju permukaan spesimen.

Pada spesimen yang mendapatkan penambahan proses pembekuan diantara proses pengeringan menunjukkan hasil kadar air yang lebih tinggi pada bagian tengah. Hal ini dapat terjadi karena dengan adanya celah pada permukaan spesimen (*extracelullar*) seperti pada Gambar 2.8, akan mengakibatkan air yang berada pada permukaan akan lebih dulu menguap sehingga air yang terdapat di dalam spesimen akan terperangkap.

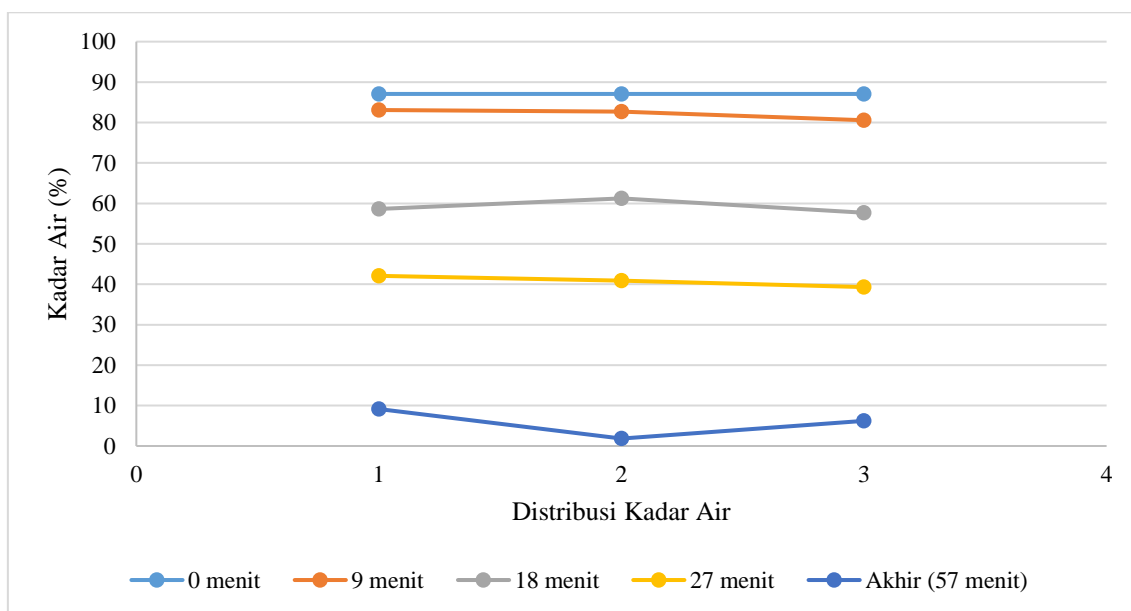
Berbeda halnya dengan spesimen yang mendapatkan penambahan proses pembekuan sebelum proses pengeringan menunjukkan kadar air yang lebih tinggi pada bagian permukaan spesimen. Hal ini disebabkan karena dengan adanya celah pada bagian dalam spesimen seperti pada Gambar 2.7, akan mempercepat air pada bagian dalam untuk menuju permukaan

spesimen ketika proses pengeringan sedang berlangsung sehingga banyak air yang akan bertumpuk pada bagian permukaan.

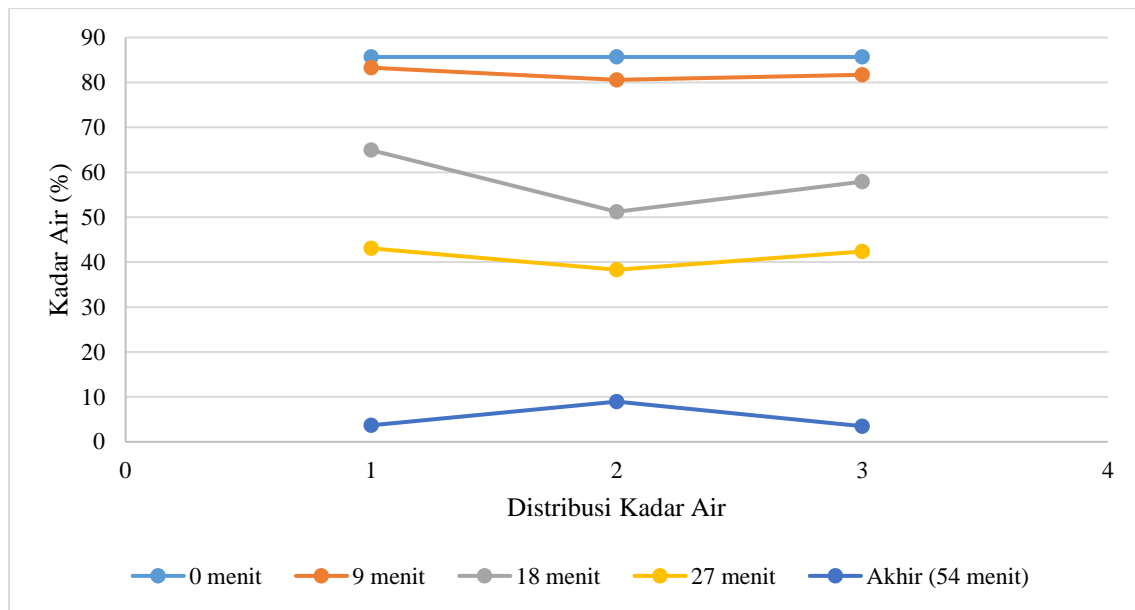
Sedangkan pada spesimen yang tidak mengalami proses pembekuan cenderung memiliki jumlah kadar air akhir yang cenderung merata pada tiap titik pengujian. Hal ini terjadi karena tanpa adanya celah yang timbul menyebabkan proses keluarnya air pada tiap bagian spesimen cenderung terjadi secara merata.



a



b



c

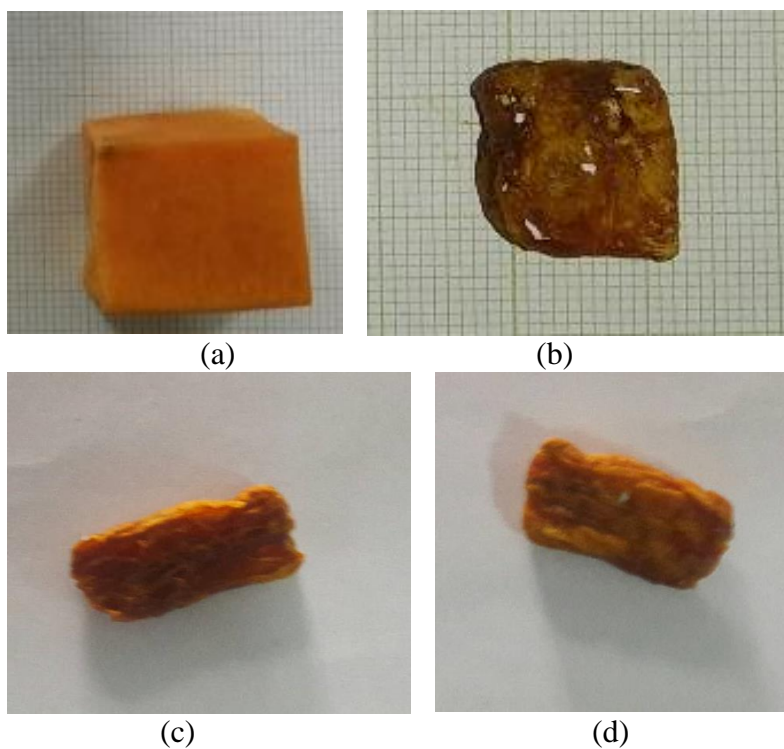
Gambar 4.6 Distribusi kadar air pada tiap titik pengujian dengan variasi (a) tanpa pembekuan, (b) penambahan pembekuan sebelum pengeringan, dan (c) penambahan pembekuan di antara pengeringan

4.3.5 Perbandingan Ukuran dan Warna Spesimen Hasil Pengeringan tiap Variasi

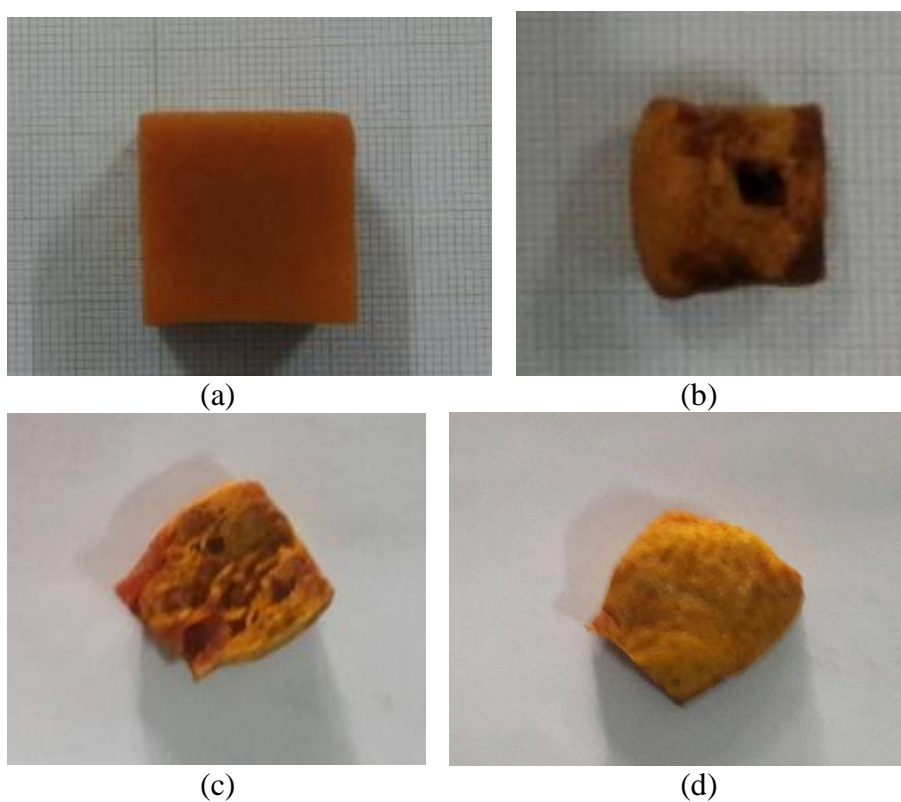
Gambar 4.7, 4.8, dan 4.9 memperlihatkan penyusutan serta perubahan warna yang terjadi pada spesimen sebelum dan setelah dikeringkan. Gambar a memperlihatkan spesiimen sebelum dikeringkan, sedangkan gambar b menunjukkan hasil spesimen setelah dikeringkan. Melalui gambar c dapat terlihat bagian dalam spesimen setelah dikeringkan dan gambar d yang menunjukkan bagian luar spesimen hasil pengeringan.

Gambar di bawah menunjukkan bahwa penyusutan volume terbesar terjadi pada spesimen yang tidak mengalami penambahan proses pembekuan. Hal ini dapat terjadi karena spesimen mendapatkan pancaran langsung dari gelombang mikro sehingga mengakibatkan spesimen akan lebih cepat rusak. Melalui perubahan warna yang terjadi, penambahan proses pembekuan diantara proses pengeringan menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan kedua perlakuan lainnya. Hal ini dapat terjadi karena dengan adanya kristal es yang menyelimuti spesimen akibat adanya penambahan proses pembekuan yang dapat melindungi permukaan spesimen dari pancaran langsung gelombang mikro.

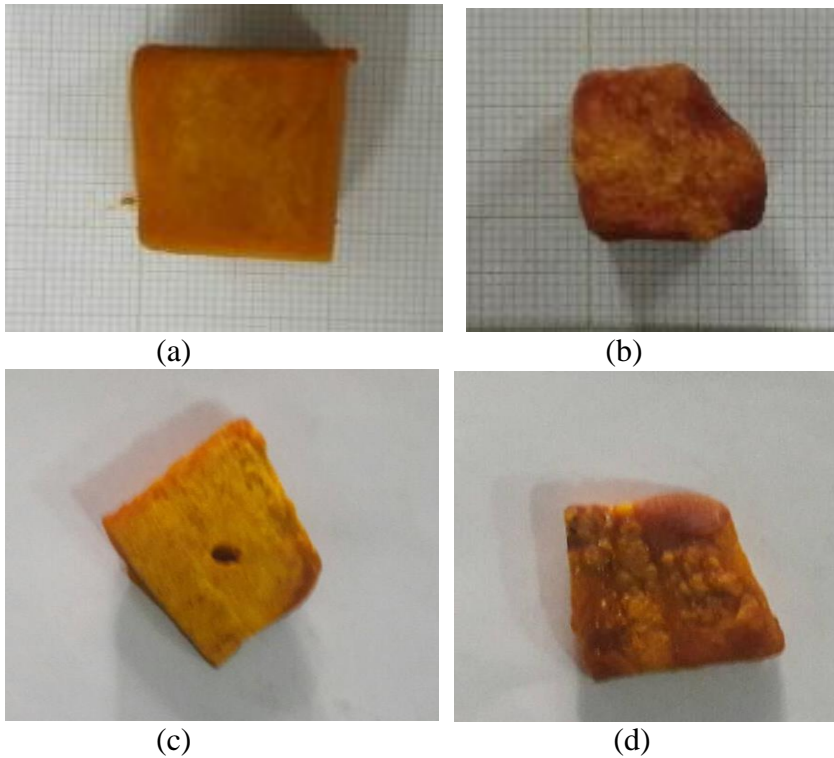
Melalui hasil yang diperoleh, dapat ditarik kesimpulan bahwa hasil terbaik diperoleh pada proses pengeringan dengan penambahan proses pembekuan diantara proses pengeringan dimana hasilnya menunjukkan warna yang jauh lebih dapat terjaga, penyusutan yang tidak terlalu besar, serta bagian dalam spesimen yang tidak terlalu memiliki banyak lubang dibanding dengan perlakuan lainnya.



Gambar 4.7 Ukuran dan warna spesimen pada variasi tanpa pembekuan, (a) ukuran awal spesimen sebelum pengeringan, (b) ukuran akhir spesimen hasil pengeringan, (c) tampak dalam spesimen hasil pengeringan, (d) tampak luar spesimen hasil pengeringan



Gambar 4.8 Ukuran dan warna spesimen pada variasi pembekuan sebelum pengeringan, (a) ukuran awal spesimen sebelum pengeringan, (b) ukuran akhir spesimen hasil pengeringan, (c) tampak dalam spesimen hasil pengeringan, (d) tampak luar spesimen hasil pengeringan



Gambar 4.9 Ukuran dan warna spesimen pada variasi pembekuan di antara pengeringan, (a) ukuran awal spesimen sebelum pengeringan, (b) ukuran akhir spesimen hasil pengeringan, (c) tampak dalam spesimen hasil pengeringan, (d) tampak luar spesimen hasil pengeringan