



Enkapsulasi Kayu Secang (*Caesalpinia sappan*, L.) dengan Konsentrasi Maltodekstrin dan Teknik Pengeringan yang Berbeda terhadap Aktivitas Antioksidan dan Antibakteri

Neswati^{1*}, Sahadi Didi Ismanto¹

¹ Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mendapatkan konsentrasi maltodekstrin dan teknik pengeringan yang tepat untuk menghasilkan enkapsulat kayu secang (*Caesalpinia sappan*, L.) dengan aktivitas antioksidan, antibakteri, dan karakteristik fisikokimia yang terbaik. Konsentrasi maltodekstrin yang digunakan adalah 1%, 4%, 7% dan 10% dari 400 mL filtrat *Caesalpinia sappan*, L. dan dikeringkan dengan menggunakan teknik *freeze drying* dan *spray drying*. Parameter uji yang dilakukan pada enkapsulat kayu secang adalah rendemen, aktivitas antioksidan, kadar air, waktu larut, padatan tidak larut dan kadar abu. Enkapsulat kayu secang terbaik (*Caesalpinia sappan*, L.) adalah konsentrasi maltodekstrin sebesar 7% dengan menggunakan teknik *spray drying*. Parameter produk terbaik adalah rendemen ($16,27 \pm 0,48$)%, aktivitas antioksidan ($40,14 \pm 1,23$)%, antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus* ($20,45 \pm 0,66$) mm, kadar air ($4,94 \pm 0,29$)%, waktu larut ($25,86 \pm 1,44$)detik, padatan tidak larut ($1,4 \pm 0,271$)%, dan kadar abu ($0,36 \pm 0,02$)%.

KATA KUNCI

Maltodekstrin; enkapsulasi; kayu secang; aktivitas antioksidan; antibakteri

PENULIS KORESPONDEN

Alamat e-mail penulis koresponden: neswati@ae.unand.ac.id

1. Pendahuluan

Kayu secang (*Caesalpinia sappan*, L.) merupakan tumbuhan endemik Asia Tenggara, termasuk Indonesia. Kayu secang mempunyai banyak manfaat seperti sebagai sumber pewarna merah dan obat herbal karena efek farmakologisnya. Menurut [1] kayu secang mengandung senyawa kimia flavonoid yang dikenal dengan *brazilin* dan *brazilein*. Ekstrak kasar kayu secang memiliki sifat antimikroba yang dapat aktivitas melawan *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhi*, *Enterobacter aerogens*, dan *Escherichia coli* [2].

Khasiat kayu secang dapat dimanfaatkan dengan lebih mudah dengan cara mengolahnya menjadi sediaan dalam bentuk serbuk dengan masa simpan yang lebih lama. Enkapsulasi ekstrak kayu secang dapat diperoleh dengan menggunakan teknik enkapsulasi. Enkapsulasi adalah sebuah proses yang mengikat suatu senyawa aktif oleh suatu bahan pengisi dalam bentuk partikel baik berukuran nanometer (*nano-enkapsulasi*), mikrometer (mikro enkapsulasi) atau skala milimeter [3].

Dalam industri makanan, proses enkapsulasi dapat diterapkan untuk berbagai alasan. Enkapsulasi adalah alat yang berguna untuk meningkatkan penyediaan molekul bioaktif (misalnya antioksidan, mineral, vitamin, *pitosterol*, *lutein*, asam lemak, *lycopene*) dan sel-sel hidup (misalnya probiotik) dalam makanan [4].

Salah satu bahan yang cukup penting dalam teknik enkapsulasi adalah maltodekstrin. Penambahan maltodekstrin bertujuan untuk melapisi komponen *flavor*, melindungi senyawa bioaktif sehingga dapat meminimalkan penurunan aktivitas antioksidan, meningkatkan jumlah total padatan, memperbesar volume, mempercepat proses pengeringan, serta meningkatkan daya kelarutan serbuk [5].

Berdasarkan penelitian pendahuluan bahwa penggunaan maltodekstrin sebesar 10 % menghasilkan aktivitas antimikroba (1,48 mm) dan aktivitas antioksidan (21,88%) serbuk kayu secang yang sangat rendah. Hal ini disebabkan karena penggunaan maltodekstrin yang masih tinggi. Menurut [6] konsentrasi optimal maltodekstrin yang digunakan untuk membuat bubuk jus jambu biji adalah 7%, dengan menggunakan metode *spray drying*.



Selain jumlah maltodekstrin yang digunakan, penggunaan metode pengeringan juga sangat menentukan tingkat aktivitas biologis dari serbuk kayu secang. Enkapsulasi dengan *spray drying* lebih ekonomis, cepat, fleksibel dan memungkinkan operasi berlangsung kontinyu, sehingga metode ini paling sering digunakan di industri makanan [7]. Pengeringan dengan *spray drying* dapat menghasilkan partikel dengan kualitas yang baik dengan ukuran kurang dari 40 μm [8]. Kondisi ini yang diinginkan dari segi sensori dan karakteristik tekstur dari produk. Metode *spray drying* dapat mempertahankan warna alami bahan karena terikat oleh bahan pelapis [9]. Metode pengeringan lain yang bisa digunakan adalah *freeze drying*. *Freeze drying* merupakan proses yang dapat mempertahankan sebagian sifat awal bahan baku seperti bentuk, dimensi, penampilan, rasa, warna, cita rasa, tekstur dan aktivitas biologis, namun metode pengeringan ini membutuhkan biaya yang mahal dan proses pengeringannya berlangsung cukup lama [10]. Penelitian ini bertujuan mendapatkan konsentrasi maltodekstrin dan teknik pengeringan yang tepat untuk menghasilkan enkapsulat kayu secang (*Caesalpinia sappan*, L.) dengan aktivitas antioksidan, antibakteri, dan karakteristik fisikokimia yang terbaik.

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan

Kayu secang (*Caesalpinia sappan*, L.) yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari pemasok komersial di kota Padang. Maltodekstrin DE 20 digunakan sebagai bahan pengisi. Bahan kimia yang digunakan untuk analisis produk enkapsulasi.

2.2 Ekstraksi dan enkapsulasi *Caesalpinia sappan*, L.

Kayu secang (*Caesalpinia sappan*, L.) disortasi, dicuci, dan diperkecil ukurannya. Bubuk kayu secang (*Caesalpinia sappan*, L.) sebanyak 15 g dimasukkan ke dalam *beaker glass* yang mengandung 400 ml air yang memiliki suhu 100 °C, kemudian direndam selama 60 menit. Setelah itu, campuran air dengan kayu secang di saring. Filtrat dicampur maltodekstrin DE 20 sebesar 1%, 4%, 7% dan 10% dan diaduk sampai homogen selama 15 menit. Campuran dikeringkan dengan *spray drying* (suhu *inlet* dan *outlet* pada suhu 150°C dan 70°C selama 2 jam), sedangkan dengan *freeze dryer* menggunakan suhu pada -30°C selama 72 jam. Sebelum produk dikeringkan dengan *freeze dryer*, produk dibekukan terlebih dahulu selama 24 jam pada suhu -30°C. Produk serbuk kayu secang dikemas dengan plastik *sealer* dimasukkan ke dalam wadah plastik yang memiliki tutup rapat dan di bagian bawah wadah diberi silika gel.

2.3 Aktivitas Antioksidan [11]

Ekstrak sebesar 400 μl (sampel) atau *blanko* (metanol) dicampur dengan 400 μl larutan DPPH yang telah disiapkan dalam tabung sentrifus. Campuran diinkubasi dalam ruang gelap selama 30 menit pada suhu kamar. Kemudian dilakukan pengukuran nilai absorban pada 517 nm. Aktivitas antioksidan dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$\text{Aktivitas antioksidan (\%)} = (A \text{ blanko} - A \text{ sample}) / A \text{ blanko} \times 100\%$$

2.4 Pengujian Antibakteri Menggunakan Metode Sumuran [12]

Suspensi bakteri uji diinokulasikan pada media MHA sebanyak 0,1 ml, kemudian diratakan dengan *hockey stick* dan diamkan hingga kering. Sumuran dibuat dengan menggunakan bagian ujung pipet steril. Dimasukkan sampel sebanyak 40 μl ke dalam sumuran yang telah dibuat, selanjutnya inkubasi selama 24 jam pada suhu 37 °C. Diamati zona bening di sekitar sumur.

3. Hasil dan Pembahasan

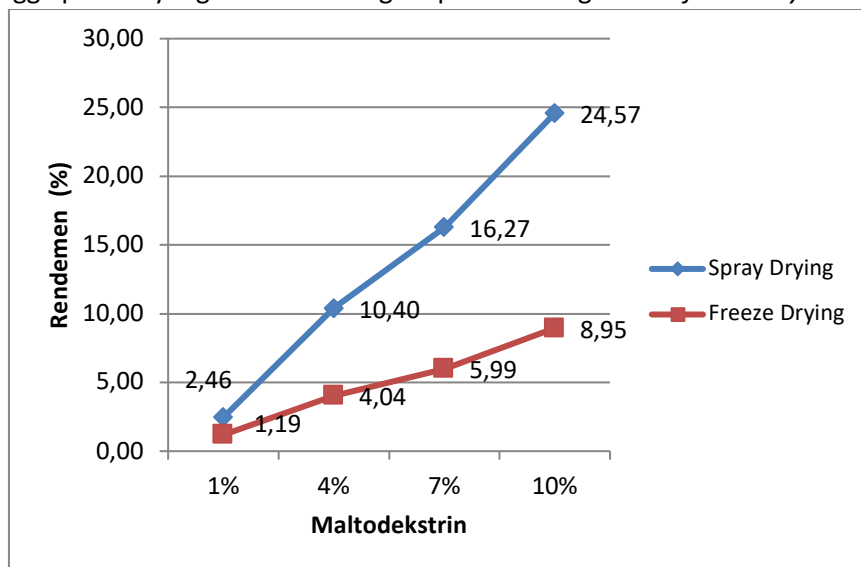
3.1 Rendemen

Rendemen merupakan persentase dari perbandingan *output* dengan *input*. Hasil perhitungan rendemen enkapsulat kayu secang dengan penambahan maltodekstrin dan metode pengeringan yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 1.

Gambar 1 menunjukkan bahwa rendemen enkapsulat kayu secang menggunakan teknik *spray drying* berkisar antara $(2,46 \pm 0,48)\%$ - $(24,57 \pm 0,55)\%$, sedangkan rendemen enkapsulat kayu secang menggunakan teknik *freeze drying* berkisar antara $(1,19 \pm 0,17)\%$ - $(8,95 \pm 1,17)\%$. Rendemen tertinggi enkapsulat dihasilkan oleh konsentrasi maltodekstrin sebesar 10%, rendemen terendah dari enkapsulat dihasilkan oleh konsentrasi maltodekstrin sebesar 1%.

Semakin banyak maltodekstrin ditambahkan, semakin tinggi rendemen enkapsulat kayu secang (*Caesalpinia sappan*, L.). Penambahan maltodekstrin dapat meningkatkan massa enkapsulat kayu secang sehingga rendemen produk menjadi lebih tinggi.

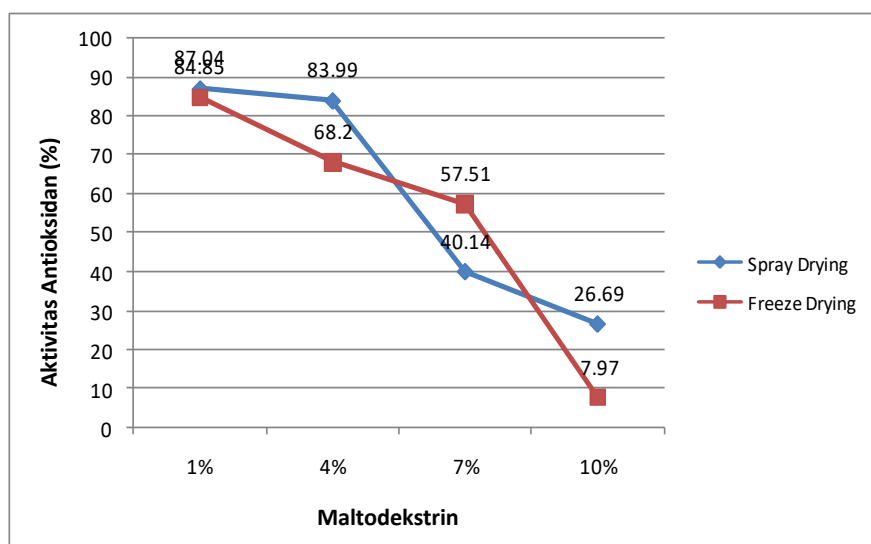
Metode pengeringan *freeze drying* menghasilkan rendemen enkapsulat kayu secang yang lebih rendah dibandingkan dengan metode *spray drying*. Hal ini disebabkan karena enkapsulat kayu secang dengan teknik *freeze drying* memiliki kadar air yang tinggi sehingga produk yang dihasilkan lengket pada dinding wadah *freeze dryer*.



Gambar 1. Rendemen enkapsulat kayu secang (*Caesalpinia sappan* L.) dengan konsentrasi maltodekstrin dan teknik pengeringan yang berbeda

3.2 Aktivitas Antioksidan

Antioksidan adalah zat yang dapat memperlambat atau mencegah proses oksidasi. Pengukuran aktivitas antioksidan merupakan salah satu metode DPPH yang berperan sebagai radikal bebas. DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) adalah radikal bebas yang biasa digunakan untuk mengukur aktivitas antioksidan ekstrak jaringan dan menunjukkan kemampuan akseptor hidrogen terhadap antioksidan. DPPH akan bereaksi dengan senyawa antioksidan yang mengindikasikan perubahan warna dari ungu (absorbansi pada 515-528 nm) menjadi kuning [13]. Aktivitas antioksidan enkapsulat kayu secang diuji pada konsentrasi 5000 ppm. Hasil uji aktivitas antioksidan enkapsulat kayu secang dapat dilihat pada Gambar 2.



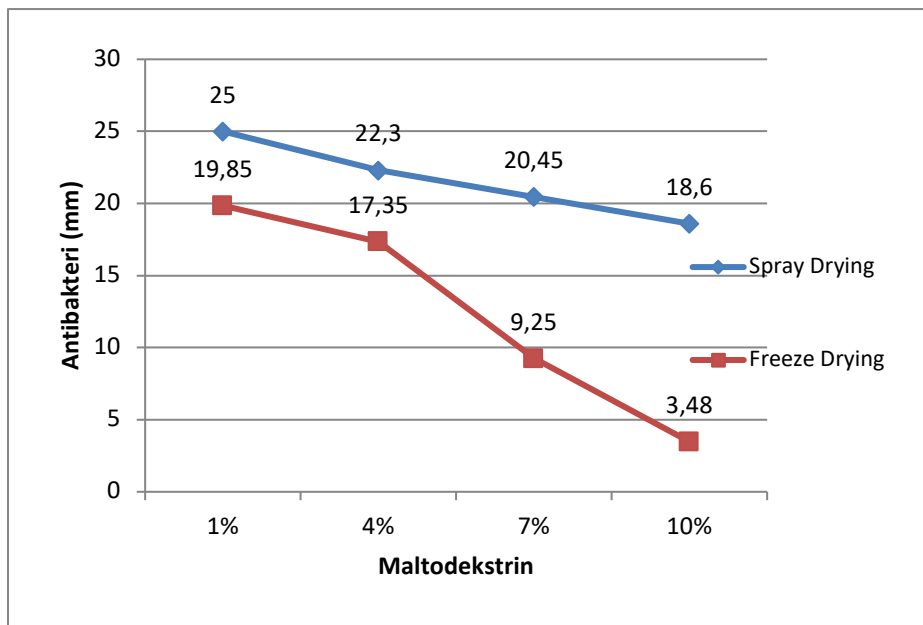
Gambar 2. Aktivitas antioksidan enkapsulat kayu secang dengan konsentrasi maltodekstrin dan teknik pengeringan yang berbeda

Gambar 2 menunjukkan bahwa aktivitas antioksidan enkapsulat kayu secang menggunakan teknik *spray drying* berkisar antara $(26,69 \pm 3,32)\%$ - $(87,04 \pm 3,98)\%$, sedangkan aktivitas antioksidan enkapsulat kayu secang menggunakan teknik *freeze drying* berkisar antara $(7,97 \pm 0,6)\%$ - $(84,85 \pm 5,41)\%$. Aktivitas antioksidan tertinggi dari enkapsulat dihasilkan oleh konsentrasi maltodekstrin sebesar 1%, aktivitas antioksidan terendah dari enkapsulat dihasilkan oleh konsentrasi maltodekstrin sebesar 10%. Semakin banyak penambahan maltodekstrin (bahan pengisi) menyebabkan aktivitas antioksidan enkapsulat kayu secang semakin menurun.

Komponen utama kayu secang adalah *brazilin*. *Brazilin* memiliki berbagai aktivitas biologis termasuk antioksidan [14]. Aktivitas antioksidan enkapsulat kayu secang dengan metode *freeze drying* lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan metode *spray drying*. Hal ini dikarenakan proses *freeze drying* dilakukan selama 3 hari dan kadar air bahan yang tinggi menyebabkan *brazilin* rusak. Energi input tinggi dan waktu pemrosesan yang lama adalah kelemahan dari *freeze drying* [15].

3.3 Antibakteri

Staphylococcus aureus merupakan salah satu bakteri gram positif yang sering digunakan peneliti untuk menguji antibakteri dari senyawa bioaktif. Bakteri ini paling sering menginfeksi kulit manusia [16]. Gambar 3 menunjukkan bahwa antibakteri dari enkapsulat kayu secang menggunakan teknik *spray drying* berkisar antara $(18,6 \pm 0,27)$ cm - $(25 \pm 0,19)$ cm, sedangkan antibakteri enkapsulat kayu secang dengan menggunakan teknik *freeze drying* mulai dari $(3,48 \pm 0,16)$ cm - $(19,85 \pm 0,57)$ cm. Antibakteri enkapsulat tertinggi dihasilkan oleh konsentrasi maltodekstrin sebesar 1%, antibakteri enkapsulat terendah dihasilkan oleh konsentrasi maltodekstrin sebesar 10%.



Gambar 3. Antibakteri kapsul kayu secang dengan konsentrasi maltodekstrin dan teknik pengeringan yang berbeda

Semakin banyak penambahan maltodekstrin, maka antibakteri kapsul kayu secang menjadi rendah. Konsentrasi maltodekstrin yang lebih tinggi mengurangi kandungan senyawa bioaktif di dalam produk sehingga aktivitas antibakteri kapsul kayu secang menjadi menurun

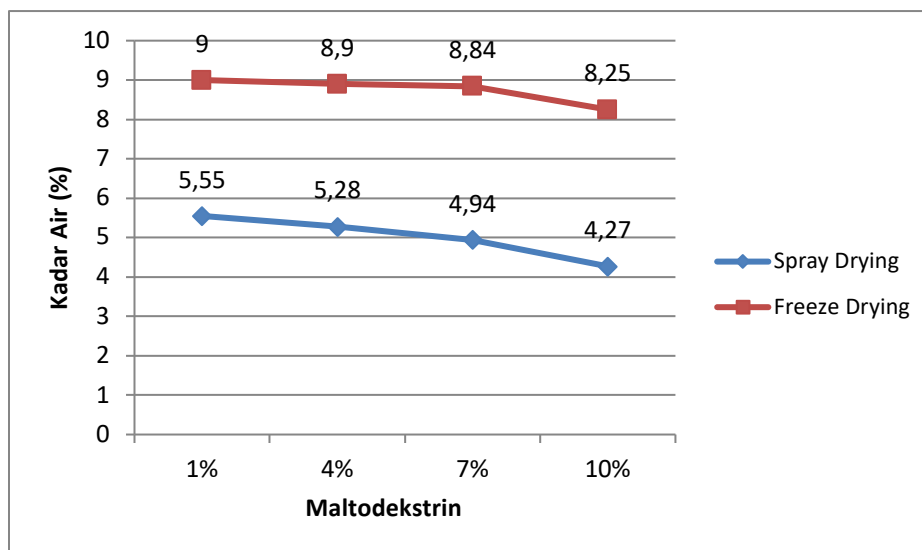
Kemampuan antibakteri kapsul kayu secang menggunakan teknik *freeze drying* lebih rendah dibandingkan menggunakan teknik *spray drying*. Hal ini disebabkan masih tingginya kadar air kapsul walaupun telah mengalami proses *freeze drying* selama 3 hari sehingga konsentrasi senyawa bioaktif di dalam kapsul menjadi rendah. Pada penelitian ini, zona penghambatan *Staphylococcus aureus* dari ekstrak Kayu secang adalah 28,5 mm lebih tinggi dari penelitian [2], yaitu 13,67 mm.

3.4 Kadar air

Salah satu parameter kualitas penting dalam produk kering adalah kadar air yang dapat menentukan umur simpan produk. Nilai rata-rata kadar air kapsul kayu secang dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar 4 menunjukkan kadar air kapsul kayu secang menggunakan teknik *spray drying* berkisar antara $(4,27 \pm 0,31)\%$ - $(5,55 \pm 0,93)\%$, sedangkan kadar air kapsul kayu secang menggunakan teknik *freeze drying* berkisar antara $(8,25 \pm 0,12)\%$ - $(9,00 \pm 0,20)\%$. Kadar air tertinggi dari kapsul dihasilkan oleh konsentrasi maltodekstrin sebesar 1%, kadar air terendah dari kapsul dihasilkan oleh konsentrasi maltodekstrin sebesar 10%.

Kadar air kapsul hasil penelitian sedikit lebih tinggi dari kadar air bubuk minuman instan berdasarkan SNI 01-4320-1996 adalah maksimal 3%. Penambahan maltodekstrin sebesar 7% dan 10% telah memenuhi standar bubuk minuman instan. Penambahan maltodekstrin lebih tinggi menghasilkan kapsul dengan kadar air lebih rendah. Maltodekstrin memiliki banyak gugus hidroksil yang mudah mengikat molekul air sehingga kapsul harus dikemas dengan bahan kedap air. Meningkatnya konsentrasi maltodekstrin mengakibatkan meningkatnya kandungan bahan kering sehingga kadar air kapsul menurun [17].

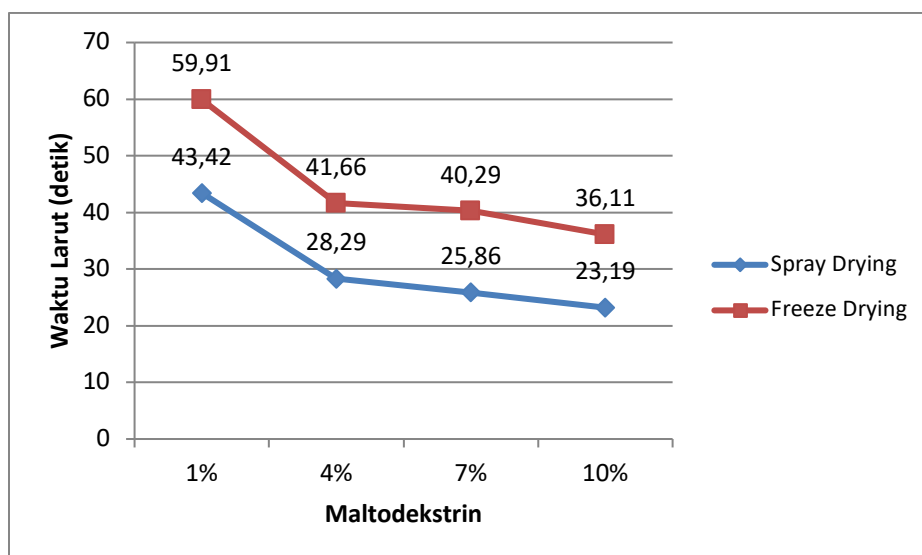


Gambar 4. Kadar air enkapsulat kayu secang (*Caesalpinia sappan*, L.) dengan konsentrasi maltodekstrin dan teknik pengeringan yang berbeda

Kadar air enkapsulat kayu secang menggunakan teknik *freeze drying* lebih tinggi dibandingkan dengan teknik *spray drying*. Teknik *freeze drying* sulit untuk memisahkan air bebas yang terkandung dalam sistem enkapsulat. Penggunaan suhu tinggi pada teknik *spray drying* mampu menguapkan air bebas yang terperangkap dalam sistem.

3.5 Waktu larut

Waktu larut menunjukkan jumlah waktu yang dibutuhkan oleh bubuk dalam ukuran porsi untuk benar-benar larut dalam volume air tertentu. Nilai rata-rata waktu larut enkapsulat kayu secang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Waktu larut enkapsulat kayu secang (*Caesalpinia sappan*, L.) dengan konsentrasi maltodekstrin dan teknik pengeringan yang berbeda

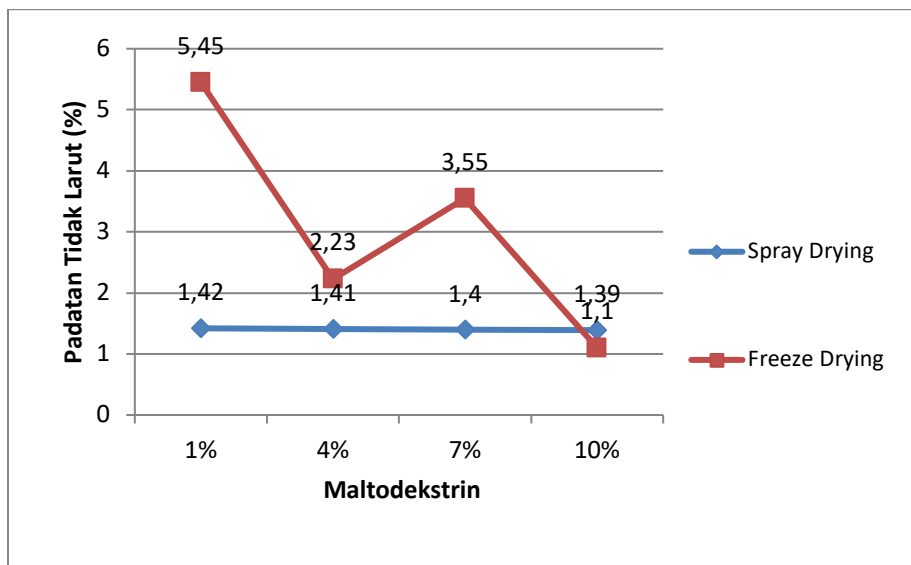
Gambar 5 menunjukkan waktu larut enkapsulat kayu secang menggunakan teknik *spray drying* berkisar antara $(23,19 \pm 2,43)$ detik - $(43,42 \pm 2,04)$ detik, sedangkan kadar air enkapsulat kayu secang menggunakan teknik *freeze drying* berkisar antara $(36,11 \pm 1,52)$ detik - $(59,91 \pm 1,24)$ detik. Waktu larut terlama dari enkapsulat dihasilkan oleh konsentrasi maltodekstrin sebesar 1%, waktu larut tercepat dari enkapsulat dihasilkan oleh konsentrasi maltodekstrin sebesar 10%.

Semakin banyak penambahan maltodekstrin, enkapsulat kayu secang lebih cepat larut. Hal ini dikarenakan maltodekstrin mengandung gugus hidroksil yang dapat mengikat air sehingga kelarutan enkapsulat kayu secang meningkat. Semakin banyak gugus hidroksil bebas dalam pengisi, tingkat kelarutannya semakin tinggi. Menurut [18], nilai DE maltodekstrin yang lebih tinggi menghasilkan kelembaban yang lebih tinggi dalam bubuk, sehingga mudah mengikat air dari udara selama penanganan bubuk setelah proses *spray drying*. Hal ini menyebabkan enkapsulat kayu secang menjadi menggumpal dan lengket. Enkapsulat agregat menghasilkan permukaan bahan yang lebih kecil yang menghubungkan pelarut air sehingga menambah lama waktu larut.

Enkapsulat yang dihasilkan dengan teknik *spray drying* memiliki waktu larut yang lebih cepat dibandingkan enkapsulat yang dihasilkan dengan teknik *freeze drying*. Hal ini dikarenakan enkapsulat dengan *freeze drying* memiliki kadar air yang lebih tinggi. Bentuk menggumpal menyebabkan enkapsulat membutuhkan waktu lebih lama untuk larut di dalam air.

3.6 Padatan tidak larut

Padatan tidak larut dilakukan untuk menentukan berapa banyak padatan yang tidak larut air yang terdapat di dalam enkapsulat kayu secang. Nilai rata-rata padatan tidak larut air dari enkapsulasi kayu secang dapat dilihat pada Gambar 6.



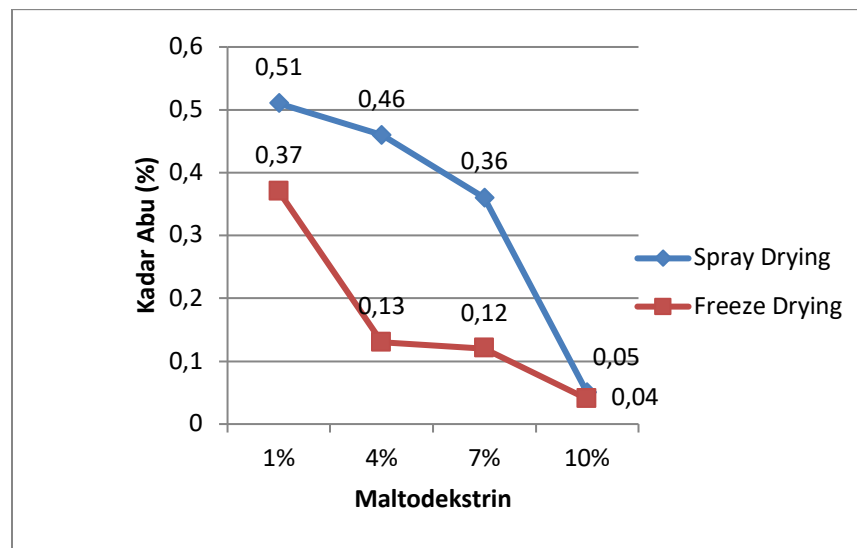
Gambar 6. Padatan tidak larut enkapsulat kayu secang (*Caesalpinia sappan*, L.) dengan konsentrasi maltodekstrin dan teknik pengeringan yang berbeda

Gambar 6 menunjukkan padatan tidak larut dari enkapsulat kayu secang menggunakan teknik *spray drying* berkisar antara $(1,39 \pm 0,07)\%$ - $(1,42 \pm 0,11)\%$, sedangkan padatan tidak larut enkapsulat kayu secang menggunakan teknik *freeze drying* berkisar antara $(1,10 \pm 0,14)\%$ - $(5,45 \pm 0,04)\%$. Padatan tidak larut tertinggi dari enkapsulat dihasilkan oleh konsentrasi maltodekstrin sebesar 1%, padatan tidak larut terendah dari enkapsulat dihasilkan oleh konsentrasi maltodekstrin sebesar 10%.

Semakin banyak penambahan maltodekstrin, semakin sedikit padatan yang tidak larut yang terdapat pada enkapsulat. Hal ini disebabkan oleh maltodekstrin mengandung sejumlah gugus hidroksil dalam yang dapat berinteraksi dengan air sehingga kelarutan enkapsulat kayu secang meningkat. Enkapsulat yang dihasilkan dengan teknik *spray drying* memiliki padatan tidak larut yang lebih rendah dibandingkan dengan enkapsulat yang dihasilkan dengan teknik *freeze drying*. Hal ini dikarenakan teknik *freeze drying* tidak dapat menguapkan air dengan sempurna sehingga air yang terkandung dalam enkapsulat masih tinggi. Kandungan air yang tinggi dan tidak merata pada material menyebabkan enkapsulat menggumpal dan sulit larut dalam air.

3.7 Kadar Abu

Abu adalah residu anorganik dari proses pembakaran atau oksidasi suatu bahan. Analisis kadar abu dinyatakan sebagai kandungan mineral total. Metode pengambilan sampel dilakukan dengan menghancurkan komponen organik sampel dengan suhu tinggi di dalam tanur dan membentuk abu putih keabu-abuan dengan berat konstan. Kandungan garam mineral yang ada dalam kayu secang adalah kalium, natrium, magnesium, kalsium dan zat besi. Nilai rata-rata kadar abu enkapsulat kayu secang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Kadar abu enkapsulat kayu secang dengan konsentrasi maltodekstrin dan teknik pengeringan yang berbeda

Gambar 7 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi maltodekstrin, semakin rendah kadar abu enkapsulat kayu secang. Dibandingkan dengan parameter bubuk minuman instan pada SNI 01-4320-1996 kriteria uji kadar abu maksimum 1,5%, persentase kadar abu enkapsulat kayu secang yang diproduksi antara 0,05% - 0,51% berada dalam kisaran ambang batas SNI untuk kualitas bubuk minuman tradisional.

Enkapsulat yang dihasilkan dengan menggunakan teknik *spray drying* memiliki kadar abu yang lebih tinggi dibandingkan enkapsulat yang dihasilkan dengan teknik *freeze drying*. Hal ini dikarenakan enkapsulat yang dihasilkan dengan teknik *freeze drying* memiliki kadar air yang lebih tinggi sehingga kandungan abu yang termasuk kandungan bahan kering menjadi lebih rendah.

Kesimpulan

Konsentrasi maltodekstrin 7% menggunakan teknik *spray drying* menghasilkan karakteristik terbaik dari enkapsulat kayu secang (*Caesalpinia sappan*, L.). Teknik *spray drying* menghasilkan hasil, waktu larut, aktivitas antioksidan, antibakteri, kadar air, waktu larut, padatan tidak larut, dan kadar abu enkapsulat lebih baik daripada teknik *freeze drying*.



Enkapsulat kayu secang dengan konsentrasi maltodekstrin 7% dengan menggunakan teknik *spray drying* memiliki antioksidan ($40,14 \pm 1,23$)% dan antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus* yang ditunjukkan oleh zona bening ($20,45 \pm 0,66$) mm. Parameter lain dari produk terbaik ini adalah rendemen ($16,27 \pm 0,48$)%, kadar air ($4,94 \pm 0,29$)%, waktu larut ($25,86 \pm 1,44$)detik, padatan tidak larut ($1,4 \pm 0,271$)%, dan kadar abu ($0,36 \pm 0,02$)%

Daftar Pustaka

- [1] L. Destiarti, R. Riyanto, R. Roto, and M. Mudasir, "Facile synthesis of reduced graphene oxide using Caesalpinia sappan L. extract as green reducing agent," *Next Mater.*, vol. 2, no. January, p. 100134, 2024, doi: 10.1016/j.nxmate.2024.100134.
- [2] T. Hemthanon and P. Ungcharoenwiwat, "Antibacterial activity, stability, and hemolytic activity of heartwood extract from Caesalpinia sappan for application on nonwoven fabric," *Electron. J. Biotechnol.*, vol. 55, pp. 9–17, 2022, doi: 10.1016/j.ejbt.2021.10.002.
- [3] E. Herman-Lara, I. Rivera-Abascal, I. Gallegos-Marín, and C. E. Martínez-Sánchez, "Encapsulation of hydroalcoholic extracts of Moringa oleifera seed through ionic gelation," *Lwt*, vol. 203, no. March, 2024, doi: 10.1016/j.lwt.2024.116368.
- [4] Y. P. Timilsena, M. A. Haque, and B. Adhikari, "Encapsulation in the Food Industry: A Brief Historical Overview to Recent Developments," *Food Nutr. Sci.*, vol. 11, no. 06, pp. 481–508, 2020, doi: 10.4236/fns.2020.116035.
- [5] L. Suriati *et al.*, "The effect of maltodextrin and drying temperature on the characteristics of Aloe-bignay instant drink," *Appl. Food Res.*, vol. 3, no. 2, 2023, doi: 10.1016/j.afres.2023.100359.
- [6] V. Patil, A. K. Chauhan, and R. P. Singh, "Optimization of the spray-drying process for developing guava powder using response surface methodology," *Powder Technol.*, vol. 253, pp. 230–236, 2014, doi: 10.1016/j.powtec.2013.11.033.
- [7] R. M. Ferreira *et al.*, "Production of betalain-rich *Opuntia ficus-indica* peel flour microparticles using spray-dryer: A holistic approach," *Lwt*, vol. 186, no. June, 2023, doi: 10.1016/j.lwt.2023.115241.
- [8] S. Levi *et al.*, "Limonene encapsulation in alginate/poly (vinyl alcohol)," *Procedia Food Sci.*, vol. 1, pp. 1816–1820, 2011, doi: 10.1016/j.profoo.2011.09.266.
- [9] Y. Z. Cai and H. Corke, "Production and Properties of Spray-dried," *J. Food Sci.*, vol. 65, no. 6, pp. 1248–1252, 2000.
- [10] T. Antal, "The effect of refrigeration and room temperature storage conditions on the physico-chemical characteristics of hybrid and freeze-dried blueberries," *J. Agric. Food Res.*, vol. 16, no. August 2023, 2024, doi: 10.1016/j.jafr.2024.101083.
- [11] Y. Sheng, J. Dong, R. Wang, Y. Wang, X. Huang, and C. Chen, "The influence of storage conditions on the quality of Schisandra chinensis fruits: A integrated investigation of constituent and antioxidant activity," *Heliyon*, vol. 10, no. 11, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e32194.
- [12] L. S. Nurhayati, N. Yahdiyani, and A. Hidayatulloh, "Perbandingan Pengujian Aktivitas Antibakteri Starter Yogurt dengan Metode Difusi Sumuran dan Metode Difusi Cakram," *J. Teknol. Has. Peternak.*, vol. 1, no. 2, p. 41, 2020, doi: 10.24198/jthp.v1i2.27537.
- [13] F. Silva *et al.*, "A rapid and simplified DPPH assay for analysis of antioxidant interactions in binary combinations," *Microchem. J.*, vol. 202, no. May, 2024, doi: 10.1016/j.microc.2024.110801.
- [14] E. Masaenah *et al.*, "Antidiabetic activity and acute toxicity of combined extract of *Andrographis paniculata*, *Syzygium cumini*, and *Caesalpinia sappan*," *Heliyon*, vol. 7, no. 12, 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e08561.
- [15] R. T. Malomar, C. Garcia, B. Gleize, V. Jury, E. Korbelt, and F. Fayolle, "Impact of sugar reduction on the glass transition temperature and sorption isotherm of freeze-dried tomato powder," *J. Food Eng.*, vol. 380, no. May, 2024, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2024.112137.



- [16] A. L. Maucotel, C. Kolenda, F. Laurent, and A. Tristan, "Staphylococcus aureus: No ticket for the Paris 2024 Olympic Games!," *Infect. Dis. Now*, vol. 54, no. 4, pp. 0–3, 2024, doi: 10.1016/j.idnow.2024.104882.
- [17] B. L. Millinia, D. Mashithah, R. Nawatila, and K. Kartini, "Microencapsulation of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) anthocyanins: Effects of maltodextrin and trehalose matrix on selected physicochemical properties and antioxidant activities of spray-dried powder," *Futur. Foods*, vol. 9, no. October 2023, 2024, doi: 10.1016/j.fufo.2024.100300.
- [18] M. Ebrahimi, R. Karimi, and A. D. Garmakhany, "The effect of maltodextrin edible coating containing pyracantha extract and potassium nano-carbonate on secondary metabolites, antioxidant capacity and microbiological properties of grape during cold storage," *Heliyon*, vol. 10, no. 13, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e34123.