

## Transformasi Sisa Hampas Sagu: Pengaruh Kaedah Pengeringan terhadap Kandungan Kanji dan Sifat Kimia

(Transformation of Sago Waste Residue: Effect of Drying Methods on Starch Content and Chemical Properties)

Nur Tantiyani Ali Othman\* & Ahmad Bahaqi

Department of Chemical and Process Engineering, Faculty of Engineering & Built Environment,  
 Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600, UKM Bangi Selangor, Malaysia

\*Corresponding author: [tantiyani@ukm.edu.my](mailto:tantiyani@ukm.edu.my)

Received 17 February 2025, Received in revised form 12 September 2025

Accepted 12 October 2025, Available online 30 November 2025

### ABSTRAK

Sisa hampas sago yang tidak terkawal daripada pengeluaran industri sago menjadi isu alam sekitar kerana ia boleh menjejaskan pencemaran sungai jika tidak dirawat dengan baik. Memandangkan ia masih mempunyai kira-kira 70% kandungan kanji, ia berpotensi untuk ditukar kepada produk nilai tambah lain seperti makanan haiwan. Walau bagaimanapun, sebelum ia boleh ditukar kepada produk lain, ia perlu melalui proses pengeringan untuk mengurangkan kandungan lembapannya yang lebih tinggi (93wt.%) bagi mengelakkan pertumbuhan bakteria mikro dan tahan lama. Oleh itu, kajian ini memberi tumpuan kepada penilaian proses pengeringan pada  $T=60$ ,  $70$  dan  $80^{\circ}\text{C}$  dalam pengering lapisan terbendalir (FBD) dan ketuhar mikro. Kemudian, sampel sago kering ini dianalisis untuk menentukan sifat kanji, serat dan abu untuk mengkaji kumpulan kimia organik berfungsi dengan menggunakan kaedah transformasi inframerah Fourier (FTIR). Keputusan menunjukkan pengurangan kandungan air dalam sago oleh FBD menunjukkan hasil yang ketara berbanding ketuhar kerana FBD dapat menghasilkan pepejal yang baik bercampur antara zarah. Selain itu, kadar pengeringan FBD mencapai masa yang lebih singkat iaitu 30 minit berbanding ketuhar iaitu 2 jam untuk mencapai kandungan lembapan akhir yang dikehendaki pada 11 wt.%. Analisis sifat kanji menggunakan FBD juga 75% lebih tinggi daripada ketuhar, iaitu kira-kira 70% kandungan kanji. Selain itu, kehadiran kanji berjaya dibuktikan dengan kehadiran asid akrilik pada gelombang  $1539.72\text{ cm}^{-1}$  untuk sampel FBD. Kesimpulannya, pengeringan sago dalam FBD pada  $T=80^{\circ}\text{C}$  telah dipilih sebagai keadaan pengeringan yang optimum kerana ia mencapai kadar pengeringan yang singkat untuk kandungan lembapan akhir 11 wt.% yang dikehendaki dan menghasilkan analisis kimia dan fizikal yang lebih baik.

**Kata kunci:** Hampas sago; pengering lapisan terbendalir (FBD); ketuhar; kanji; sifat kimia

### ABSTRACT

The uncontrolled disposal of sago bagasse waste from the sago industry has emerged as an environmental concern, potentially contributing to river pollution if not properly managed. With its substantial 70.5% starch content, there exists potential for its conversion into value-added products, such as animal feed. However, prior to such transformation, a crucial drying process is essential to reduce its high moisture content (93 wt.%), preventing microbial growth and ensuring extended shelf life. This study focuses on evaluating the drying process at temperatures  $T=60$ ,  $70$  and  $80^{\circ}\text{C}$  in fluidized bed dryer (FBD) and micro-oven. Subsequently, the dried sago samples undergo analysis to determine starch, fiber, and ash properties, as well as to study functional organic chemical groups using Fourier infrared transform (FTIR) methodology. Results reveal a significant reduction in sago water content using the FBD compared to oven, attributed to the FBD method's effective solid particle mixing. Additionally, the FBD achieves a quicker drying rate, requiring only 30 minutes, in contrast to the oven's 2 hours to reach the desired final moisture content of 11 wt.%. Starch analysis using the FBD indicates an almost 75% higher starch content compared to the oven, reaching approximately

70%. The presence of starch is further validated by the detection of acrylic acid at a wavelength of  $1539.72\text{ cm}^{-1}$  in the FTIR analysis of the FBD sample. In conclusion, sago drying in the FBD at  $T=80\text{ }^{\circ}\text{C}$  is identified as the optimum drying condition, demonstrating a rapid drying rate to achieve the desired final 11 wt.% moisture content and yielding improved results in both chemical and physical analyses.

**Keywords:** Sago bagasse; fluidized bed dryer (FBD); oven drying; starch; chemical properties

## PENGENALAN

*Metroxylon*, spesies pokok sago yang tumbuh subur dalam persekitaran lembap, terutamanya di kawasan berpayau, dan dikenali sebagai salah satu sumber awal batang pokok untuk pengeluaran kanji. Masa penuaian pokok sago sangat dipengaruhi oleh kesuburan tanah (Chong 2015). Disebabkan oleh kebolehsesuaiannya luar biasa terhadap persekitaran mencabar, pokok sago memerlukan pemantauan yang minimum (Rahman et al. 2020). Menurut Dasar Komoditi Negara 2011-2020, industri sago memainkan peranan penting di Sarawak, Malaysia, dengan sumbangan yang ketara kepada ekonomi. Sarawak merupakan pembekal utama dunia, menyumbang hampir separuh import produk sago global, dengan pengeluaran tahunan sebanyak 190,000 tan. Malaysia juga mengeksport 25,000 tan sago ke ASEAN, Jepun, Taiwan, dan Australia pada tahun 2010 (Anon 2020).

Kajian oleh Nururrahmah et al. (2018) menunjukkan bahawa sago mempunyai kandungan karbohidrat yang tinggi, iaitu 84.7 gram karbohidrat bagi setiap 100 gram sago, menjadikannya sumber makanan ruji di Asia Tenggara. Dalam industri makanan, kanji sago memainkan peranan penting sebagai bahan mentah, mengatasi ubi kayu, beras, atau jagung dari segi kapasiti pengeluaran kanji (Amin et al. 2019), menunjukkan potensi peningkatan permintaan terhadap produk sago.

Kajian oleh Mustafa Kamal et al. (2017) menunjukkan variasi kandungan kanji antara kilang pemprosesan moden dan tradisional, dengan mengambil kira faktor seperti kandungan lembapan, warna, struktur mikro, saiz zarah, dan serapan inframerah. Walau bagaimanapun, perkembangan pesat industri sago telah menimbulkan kebimbangan alam sekitar, khususnya pencemaran sungai akibat pembuangan sisa sago terus ke dalam sungai berdekatan. Sisa ini merupakan hasil sampingan daripada proses pengekstrakan kanji di pelbagai kilang Malaysia (Bujang 2010), sering dibuang tanpa rawatan kerana kandungan lembapannya yang tinggi, yang menghalang peluang untuk kitar semula sisa (Jiwa Bakti 2020). Selain itu, pembuangan sisa sago memberi kesan negatif kepada kualiti air sungai, mengganggu proses aerasi yang penting untuk kehidupan akuatik.

Namun begitu, sisa sago boleh dijadikan sebagai produk baharu memandangkan sisa sago basah masih mengandungi 60-70% kandungan kanji, menjadikannya

sesuai sebagai makanan ternakan dengan rawatan yang betul (Bujang 2010). Selain itu, sisa sago ini kaya dengan nutrien kerana mengandungi kanji dan pelbagai komponen kimia seperti lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Komponen ini berpotensi sebagai sumber boleh diperbaharui untuk menghasilkan barangan bernilai, termasuk makanan ternakan yang mengandungi protein dan serat kasar (Wardono et al. 2021), serta sebagai bahan tambahan dalam pembuatan seramik kerana kekuatan tegangan yang dimilikinya (Lai et al. 2014).

Sebelum sisa sago dapat ditransformasikan menjadi produk baharu, ia perlu melalui proses pengeringan untuk mengurangkan kandungan lembapan, bagi mengelakkan pertumbuhan bakteria serta mengekalkan kualiti produk dari segi warna, tekstur, dan kandungan polifenol keseluruhan. Sisa sago yang tidak dikeringkan mudah rosak disebabkan oleh pembentukan mikroorganisma pada serat, dipercepatkan oleh kandungan nutrien yang tinggi dalam sisa tersebut. Terdapat pelbagai kaedah pengeringan seperti pengeringan secara semula jadi menggunakan cahaya matahari dan teknologi pengeringan menggunakan ketuhar gelombang mikro. Namun, kaedah-kaedah ini kurang berkesan kerana penggunaan tenaga yang tinggi serta pendedahan kepada persekitaran yang tidak sihat (Sunarti et al. 2012).

Kajian terdahulu terbukti kelebihan ke atas penggunaan pengeringan lapisan terbendalir (FBD) yang digunakan secara meluas dalam industri pengeringan bagi pelbagai bahan lembap seperti sisa kelapa (Assawarachan 2013), lada hitam (Chuwattanakul & Eiamsa-Ard 2019), kacang soya (Nitz & Taranto 2007) dan hampas sago (Nur Tantiyani et al. 2022, Nur Izzati et al. 2024 dan Nur Tantiyani et al. 2024). Memandangkan kepentingan proses pengeringan dalam industri makanan, di mana bahan tertentu perlu dikeringkan sekurang-kurangnya 40 wt.%, faktor-faktor yang mempengaruhi kadar pengeringan optimum sisa sago menjadi sangat penting. Faktor-faktor ini memainkan peranan utama dalam mengurangkan masa pengeringan sambil memastikan kualiti sisa sago terpelihara (Daud 2008). Oleh itu, kajian ini bertujuan untuk menyiasat kesan pelbagai teknik pengeringan, iaitu FBD dan pengeringan ketuhar, terhadap sifat kimia dan fizikal sisa sago kering yang dihasilkan.

Selain itu, pengeringan sago menggunakan FBD mampu memberi impak yang besar terhadap negara dari aspek sosial, ekonomi dan matlamat pembangunan

mampan (SDG) di mana ia dapat meningkatkan lagi produktiviti, kecekapan dan daya saing industri sagu, mewujudkan peluang pekerjaan dan mengurangkan kos pengeluaran melalui penggunaan tenaga lebih cekap berbanding kaedah lain di samping mengurangkan pembaziran bahan mentah akibat kerosakan atau pencemaran semasa pengeringan.

## METODOLOGI

Sebanyak 3 kg sisa sagu diperolehi dari Kilang Bor Giap Sdn. Bhd di Batu Pahat, Johor Bahru. Langkah awal melibatkan pengeringan sisa sagu dengan menggunakan pelbagai kaedah bagi memudahkan analisis selanjutnya terhadap sifat kimia dan fizikalnya. Sampel sisa sagu menjalani tiga kaedah pengeringan yang berbeza: pengering lapisan terbendalir (FBD) dan pengering ketuhar, kedua-duanya dikendalikan pada suhu  $T=60, 70$  dan  $80^{\circ}\text{C}$ , dengan mencapai kandungan lembapan akhir  $<10\%$  pada asas kering (d.b%). Seterusnya, sampel sagu yang telah dikeringkan menjalani tiga analisis kimia dan dua analisis fizikal bagi mencirikan sifat kimia dan fizikalnya.

### TEKNIK PENGERINGAN: PENGERING LAPISAN TERBENDALIR (FBD) DAN KETUHAR

Dalam prosedur pengeringan, setiap proses pengeringan menggunakan 100 g sisa sagu basah. Mesin FBD, model Retsch TG 200, mempunyai dimensi diameter 220 mm dan ketinggian 520 mm, termasuk beg penapis. Tetapan suhu ditentukan pada  $T=60, 70$  dan  $80^{\circ}\text{C}$ , dengan kelajuan aliran udara  $v_i=20$  m/s. Sepanjang fasa pengeringan FBD dan ketuhar, kandungan lembapan sagu diukur pada selang masa 10 minit untuk menentukan kehilangan air semasa proses pengeringan. Prosedur ini diulang sebanyak tiga kali bagi mendapatkan nilai purata kandungan lembapan akhir. Rajah 1 menunjukkan keadaan hampas sagu a) sebelum dikeringkan dan b) selepas dikeringkan.



RAJAH 1. Hampas sagu sebelum (kiri) dan selepas (kanan) dikeringkan.

### ANALISIS SIFAT KIMIA DAN FIZIKAL SISA SAGU KERING

Sebelum meneruskan analisis selanjutnya, sisa sagu yang telah dikeringkan dikisar sehingga menjadi serbuk halus dan kemudian diayak menggunakan ayak bersaiz 35 mesh ( $500\ \mu\text{m}$ ). Pengelasan ini sebagai serbuk kasar bertujuan untuk memastikan keseragaman dan konsistensi saiz zarah sambil mengasingkan sebarang kemungkinan bahan cemar. Bagi setiap kaedah pengeringan, sampel menjalani tiga analisis kimia: pengekstrakan amilosa dan kanji, pengekstrakan serat dan abu, serta penentuan sebatian organik. Secara serentak, dua analisis fizikal dijalankan, iaitu ujian warna dan penilaian kawasan struktur liang sisa sagu kering.

### ANALISIS PENGEKSTRAKAN KANJI, SERAT, ABU, DAN SEBATIAN ORGANIK

Untuk menganalisis kandungan kanji, kaedah hidroterma (HT) digunakan bagi mengekstrak kanji daripada sisa sagu. Setiap sampel seberat 4 g daripada proses pengeringan FBD dan ketuhar dicampurkan dengan air suling dalam kelalang konikal 500 ml. Proses hidroterma berlaku pada  $T=115^{\circ}\text{C}$  selama 15 minit menggunakan teknologi autoklaf. Seterusnya, pH larutan ekstraksi diselaraskan kepada 6.5 menggunakan reagen  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  0.25 M. Larutan tersebut ditapis melalui kain penapis 150 mesh sebelum menjalani proses pengeringan ketuhar pada  $T=60^{\circ}\text{C}$  selama 48 jam. Selepas proses pengeringan, produk kanji diayak menggunakan penapis yang bersaiz 100 mesh bagi mengurangkan saiz serbuk kanji. Kanji pepejal yang diperoleh kemudian dicairkan menjadi larutan 1% untuk dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-vis pada panjang gelombang 610 nm.

Bagi analisis serat dan abu, setiap sampel seberat 3 g daripada pengeringan FBD dan ketuhar disediakan dan dicampurkan secara berasingan dengan larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.128 M dan NaOH 0.313 M dalam kelalang konikal. Sampel tersebut dipanaskan menggunakan plat pemanas selama 30 minit dan kemudian ditapis melalui kain penapis. Seterusnya, 200 ml air panas dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dalam kelalang konikal dialirkan melalui sampel yang ditapis. Berat serat basah diukur, dan dicampurkan dengan larutan NaOH 0.313 M dalam kelalang konikal baharu. Campuran ini dipanaskan di atas plat pemanas selama 30 minit, dan 300 ml air suling panas yang dicampur dengan larutan NaOH dalam kelalang konikal dialirkan melalui produk untuk mencuci dan menghilangkan baki NaOH. Produk akhir yang diperoleh diletakkan dalam krus dan dipanaskan menggunakan ketuhar udara panas pada  $T=180^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam sebelum ditimbang selepas ia sejuk.

Bagi analisis kandungan abu, produk menjalani proses pengeringan lanjut dalam relau mufia dengan krus dan penutup selama dua jam pada  $T=550\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Akhirnya, berat produk abu diukur.



RAJAH 2. Produk serat selepas proses penapisan.

### ANALISIS FOURIER TRANSFORM INFRARED (FTIR)

Analisis Fourier Transform Infrared (FTIR) digunakan untuk mengesahkan akan kehadiran kandungan kanji dalam sampel sagu kering. Produk sampel dianalisis dalam bentuk serbuk kasar dengan saiz  $500\text{ }\mu\text{m}$ . Analisis FTIR dijalankan pada julat panjang gelombang antara  $500$  hingga  $4000\text{ cm}^{-1}$ , yang berada dalam julat pertengahan panjang gelombang yang sesuai untuk analisis kumpulan fungsi dalam sampel organik.

### ANALISIS WARNA DAN STRUKTUR LIANG DALAM HAMPAS SAGU KERING

Bagi analisis ujian warna, pencairan warna dilakukan ke atas sampel sisa sagu kering dan basah bagi memerhatikan variasi warna, khususnya dari segi kecerahan dan keperangan. Teknologi pengesanan warna model  $N_{ix}$  digunakan untuk mengukur nilai parameter Hunter, termasuk  $L^*$ ,  $b^*$ , dan  $a^*$ , dalam menentukan tahap kecerahan atau kegelapan sampel selepas proses pengeringan. Analisis ini bertujuan untuk mengenal pasti tahap warna sisa sagu yang paling hampir dengan warna asalnya berdasarkan nilai warna putih ( $W1$ ) dan keperangan keseluruhan sampel ( $E$ ). Bagi analisis liang, mesin BET digunakan untuk mengkaji kawasan liang dalam sisa sagu kering yang diletakkan di dalam tiub mikrocentrifuge.

### HASIL KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

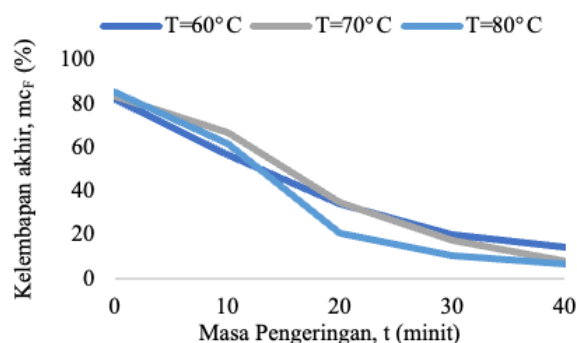
#### KADAR PENDINGERIAN KANDUNGAN LEMBAPAN SAGU

Kajian ini menumpukan kepada proses pengeringan sisa sagu melalui pengering lapisan terbendalir (FBD) dan

pengeringan ketuhar dengan tujuan mengurangkan kandungan lembapan kepada  $11\text{ wt.}\%$  daripada kandungan lembapan awal sebanyak  $84\text{ wt.}\%$ . Berat sisa sagu kering pada masa tertentu ditentukan menggunakan persamaan (1), di mana  $W_o$  mewakili berat awal sisa sagu, dan  $W_i$  menunjukkan berat kering sisa sagu.

$$\frac{\Delta X}{\Delta t} = \frac{W_o - W_i}{\text{Masa akhir} - \text{awal}} \quad (1)$$

Hampas sagu yang telah dikeringkan menggunakan FBD disimulasikan pada suhu  $T=60$ ,  $70$  dan  $T=80\text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan kelajuan aliran udara yang konsisten pada  $20\text{ m/s}$ . Rajah 3 menunjukkan profil taburan kandungan lembapan sisa hampas sagu, yang menunjukkan penurunan secara eksponen dengan peningkatan masa untuk semua kedudukan sampel. Didapati, pengeringan FBD pada  $T=60\text{ }^{\circ}\text{C}$  tidak mencapai tahap pengeringan yang optimum untuk makanan haiwan kerana kandungan lembapan dalam tempoh  $30$  minit melebihi ambang ideal, iaitu  $12.33\text{ wt.}\%$  dalam FBD. Kandungan lembapan yang diperlukan untuk makanan haiwan tidak boleh melebihi  $11.5\text{ wt.}\%$  (Alengadan 2013).



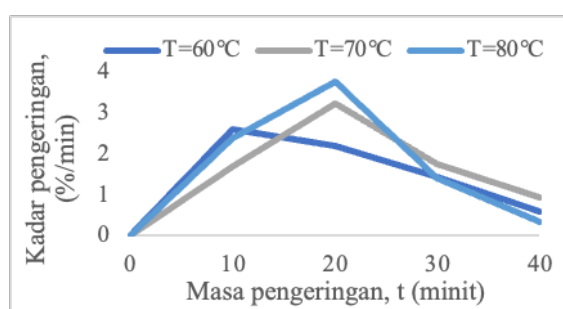
RAJAH 3. Kandungan lembapan akhir hampas sagu dalam pengeringan masa tertentu pada suhu (a)  $T=60\text{ }^{\circ}\text{C}$  (b)  $T=70\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan (c)  $T=80\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Sebaliknya, pembekalan udara panas pada  $T=80\text{ }^{\circ}\text{C}$  berjaya mencapai kandungan lembapan akhir yang diinginkan untuk makanan haiwan, dengan kandungan lembapan dalam minit ke-30 sebanyak  $9.23\text{ wt.}\%$ . Pemindahan haba yang tidak sekata ini berlaku disebabkan oleh pergerakan rawak pepejal atau sampel, yang menghasilkan inersia tinggi dalam kalangan pepejal dan mencapai tahap pencampuran pepejal yang baik semasa proses bendalir (Daud 2008).

Awalnya, hampas sagu ini mempunyai kandungan lembapan sebanyak  $84.02\text{ wt.}\%$  dan  $85\text{ wt.}\%$  dikeringkan pada suhu  $60$ ,  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Jelas bahawa pengeringan dalam FBD pada suhu  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  lebih cepat berbanding proses

pada suhu 60 dan 70 °C. Walaupun kedua-dua suhu mencapai tempoh pengeringan yang sama iaitu 40 minit, pengeringan pada 80 °C mencapai tahap pengeringan optimum dengan kandungan air 10.64 wt.%, yang berada di bawah ambang ideal 11.5 wt.% untuk analisis sampel secara organik sebagai makanan haiwan. Secara umum, kandungan air berkurang secara berkadar dengan peningkatan masa pengeringan.

Rajah 4 menunjukkan kadar pengeringan purata bagi FBD dan pengeringan ketuhar pada  $T=60, 70$  dan  $80$  °C. Diketahui bahawa pengeringan FBD pada  $80$  °C mencapai kadar pengeringan yang lebih tinggi dan pantas, iaitu 4.60 g/j. Ini disebabkan oleh kadar pemindahan jisim dan haba yang berkesan, yang difasilitasi oleh hubungan zarah yang ketara antara sampel pepejal dan udara kering dalam FBD (Daud 2008). Kadar pengeringan FBD menunjukkan corak tersendiri dalam jam ke-0.67 yang pertama, berbeza dengan kadar pengeringan yang konsisten diperhatikan dalam pengeringan ketuhar dari jam ke-0.83 hingga akhir.



RAJAH 4. Kadar pengeringan hampas sagu dalam FBD dalam masa pengeringan tertentu pada suhu  $T=60, 70$  dan  $80$  °C.

Daripada kajian ini mendapati bahawa keputusan pengeringan optimum sagu menggunakan FBD dicapai pada  $T=80$  °C dengan kadar pengeringan 4.60 g/j. Keputusan ini menyamai julat kadar pengeringan yang diperolehi melalui kajian oleh Bujang 2010, Nururrahmah et al. 2018 dan Nur Tantiyani et al. 2024 iaitu antara 4.53-4.74 g/j bagi keadaan pengoperasian yang sama di mana peratus perbezaan adalah kurang daripada 3%.

## ANALISIS KIMIA HAMPAS SAGU KERING

### EKSTRAKSI KANJI

Analisis ekstraksi dijalankan untuk memperoleh kanji tulen, serat, dan kandungan abu. Larutan kanji diekstrak kemudiannya dicairkan menggunakan pelarut yang sesuai, dipilih berdasarkan keterlarutan dalam pelarut kutub atau bukan kutub. Larutan kanji dicairkan kemudiannya diuji

menggunakan FTIR dan spektrofotometer untuk melihat penyerapan cahaya pada panjang gelombang 610 nm.

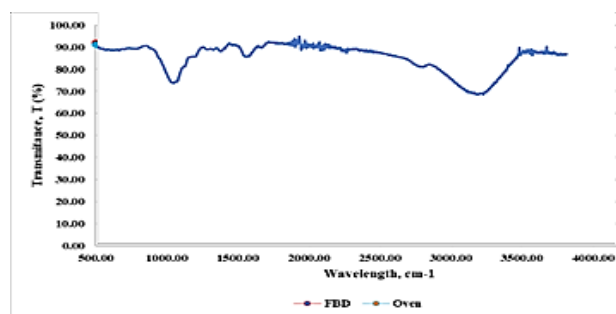
Daripada analisis, didapati kandungan kanji sedikit lebih tinggi dalam FBD (75%) berbanding pengeringan ketuhar (70%). Larutan kanji yang diperoleh kemudiannya dianalisis menggunakan spektrofotometri dan pengiraan kualitatif kanji berdasarkan kandungan amilosa dalam kanji. Kandungan amilosa dan amilopektin dalam kanji dipengaruhi oleh faktor seperti jenis, umur, dan keadaan pemrosesan. Selain itu, kualiti makanan haiwan yang mengandungi kanji sangat dipengaruhi oleh tahap amilosa dan amilopektin kerana peranannya dalam gelatinisasi, retrogradasi, dan ciri fungsian kanji. Untuk mengesan kehadiran amilosa dalam kandungan kanji, larutan iodin digunakan kerana ia berupaya untuk bergabung dengan amilosa disebabkan oleh struktur rantai lurus (Subroto 2020).

### ANALISIS KANDUNGAN SERAT DAN ABU DALAM HAMPAS SAGU

Dalam analisis kandungan serat dan abu, didapati bahawa sampel FBD menunjukkan kandungan serat kasar yang lebih rendah berbanding pengeringan ketuhar, dengan nilai masing-masing 10.76 wt.% untuk FBD dan 11.44 wt.% untuk pengeringan ketuhar. Dalam kes analisis abu, kedua-dua sampel FBD dan ketuhar menghasilkan kandungan yang hampir sama, masing-masing sebanyak 42.74g dan 42.75g selepas proses pembakaran.

### PENCIRIAN SEBATIAN ORGANIK MENGUNAKAN ANALISIS FTIR

Pengenalpastian sampel sagu yang dikeringkan melalui FBD dan ketuhar dilakukan menggunakan spektrum inframerah Fourier, seperti dalam Rajah 5. Spektrum kedua-dua sampel (pengeringan FBD dan ketuhar) didapati hampir sejajar. Kedua-duanya menunjukkan puncak tinggi dan lebar dalam julat  $3000\text{ cm}^{-1}$  hingga  $3600\text{ cm}^{-1}$ , yang dikaitkan dengan kumpulan OH yang boleh diregangkan. Sampel FBD menunjukkan puncak pada  $3346\text{ cm}^{-1}$ , manakala sampel ketuhar pada  $3344.58\text{ cm}^{-1}$ . Selain itu, puncak sekitar  $2930\text{ cm}^{-1}$ , yang diperhatikan pada  $2930.76\text{ cm}^{-1}$  bagi kedua-dua sampel, menunjukkan regangan CH. Kehadiran air terjerap dalam kedua-dua sampel dikenalpasti pada puncak  $1640\text{ cm}^{-1}$  untuk sampel FBD dan  $1613.01\text{ cm}^{-1}$  untuk sampel ketuhar.



RAJAH 5. Spektrum FTIR hampas sagu yang telah dikeringkan.

Julat untuk hampas sagu memanjang dari  $1100\text{ cm}^{-1}$  hingga  $990\text{ cm}^{-1}$ , yang menunjukkan ciri regangan ikatan C-O dalam ikatan C-O-C dan C-OH dalam kumpulan glikosidik. Walaupun kedua-dua sampel tidak menunjukkan perbezaan puncak yang ketara, ia dapat dibezakan melalui puncak yang menunjukkan kehadiran triple lignin, yang berada antara  $1503\text{ cm}^{-1}$ ,  $1456\text{ cm}^{-1}$ , dan  $1427\text{ cm}^{-1}$ . Sampel FBD menunjukkan triple lignin pada  $1427\text{ cm}^{-1}$ , manakala sampel ketuhar menunjukkan pada  $1426.31\text{ cm}^{-1}$ . Selain itu, puncak dalam julat  $1550\text{ cm}^{-1}$  hingga  $1400\text{ cm}^{-1}$ , yang terikat oleh ikatan C=O untuk asid akrilik, turut diperhatikan. Asid akrilik bertindak sebagai penunjuk kehadiran kanji dalam sampel, dengan sampel FBD menunjukkan puncak pada  $1539.72\text{ cm}^{-1}$  (Yacob et al. 2003).

Walaupun suhu yang berbeza digunakan, analisis kumpulan fungsi untuk sampel sagu tidak menunjukkan perubahan yang ketara. Perbezaan spektrum FTIR yang kurang ketara antara sampel FBD dan ketuhar boleh dikaitkan dengan beberapa kesilapan yang tidak dapat dikawal. Antaranya, saiz zarah hampas sagu boleh mempengaruhi bacaan spektrum FTIR. Dalam kajian ini, saiz zarah hampas sagu yang digunakan ialah  $500\text{ }\mu\text{m}$ , yang mana ia dikategorikan sebagai zarah halus (Margenot et al. 2016).

## ANALISIS CIRI FIZIKAL HAMPAS SAGU KERING

### UJIAN WARNA

Penilaian keperangan dalam makanan kering dijalankan menggunakan meter warna, biasanya menggunakan parameter warna Hunter, iaitu kecerahan ('L'), kemerahan ('a'), dan kekuningan ('b'). Parameter 'L' mengukur kecerahan sampel pada skala dari (L=0) hitam hingga (L=100) putih. Parameter 'a' dan 'b' diukur dalam julat -60 hingga +60, dengan 'a' menunjukkan kemerah-hijauan dan 'b' berkisar dari biru ke kuning.

Jadual 1 menunjukkan hasil analisis keperangan ('E'),

di mana sampel FBD mempunyai nilai yang lebih rendah daripada sampel ketuhar. Nilai keperangan yang sedikit lebih tinggi dalam pengeringan ketuhar mungkin dikaitkan dengan kandungan lembapan, kerana air merupakan komponen dalam tindak balas Millard yang menghasilkan sebatian warna coklat seperti melanoidin. Kadar kehilangan lembapan yang lebih rendah dalam sampel pengeringan ketuhar menunjukkan ia mengekalkan kandungan lembapan yang lebih tinggi pada kadar pengeringan yang rendah berbanding FBD, yang mencapai kandungan lembapan yang rendah pada kadar pengeringan yang tinggi dan singkat. Secara visual, sampel ketuhar kelihatan lebih gelap ('L') berbanding sampel FBD.

JADUAL 1. Keputusan ujian warna ke atas hampas sagu di mana simbol 1 adalah pengeringan melalui FBD, 2 adalah ketuhar dan 3 adalah sinaran matahari (pengeringan tradisional).

| Simbol | 1     | 2     | 3     | Purata           |
|--------|-------|-------|-------|------------------|
| L      | 68.17 | 65.68 | 68.13 | $67.32 \pm 1.42$ |
| a      | 2.03  | 1.84  | 2.04  | $1.97 \pm 0.14$  |
| B      | 12.93 | 11.90 | 12.62 | $12.48 \pm 0.52$ |

### ANALISIS BET

Kawasan permukaan hampas sagu boleh dinilai dengan mengukur penyerapan nitrogen pada sampel menggunakan kaedah BET dalam julat tekanan relatif 0.05 ke 0.3 (Zhang 2020). Kajian terdahulu mencadangkan kaedah pengeringan mempengaruhi luas permukaan sampel BET, yang secara beransur-ansur meningkat dengan tahap penghidratan atau jumlah kandungan lembapan yang hilang. Corak ini dijangka berlaku kerana luas permukaan berkait rapat dengan peningkatan jumlah kalsium silikat hidrat (C-S-H) seiring dengan tempoh masa akibat penghidratan berterusan, yang membawa kepada pengembangan volum liang gel, penyumbang utama kepada luas permukaan BET.

Jadual 2 menunjukkan perbandingan keputusan BET ke atas saiz pori hampas sagu di mana luas permukaan BET dalam pengering ketuhar adalah lebih rendah disebabkan oleh proses pengkarbonan udara dalam ketuhar. Untuk mengurangkan risiko ini, gas nitrogen boleh dialirkan ke atas sampel pada suhu  $60^\circ\text{C}$  (Zhang 2020). Kesimpulannya, kehilangan air yang tinggi atau tahap penghidratan sampel mempengaruhi luas permukaan liang BET. Selain itu, peningkatan luas permukaan liang BET menunjukkan mikrostruktur yang lebih baik. Oleh itu, sampel yang dikeringkan menggunakan FBD menunjukkan peningkatan luas permukaan liang BET, yang hampir menyerupai sampel residu sagu basah berbanding sampel dari pengering ketuhar.

JADUAL 2. Perbandingan keputusan BET ke atas saiz pori hampas sagu

| Dapatan kajian           | Keputusan BET            |
|--------------------------|--------------------------|
| Kajian ini (FBD)         | 1.5523 m <sup>2</sup> /g |
| Herman Siruru et al 2020 | 1.47 m <sup>2</sup> /g   |
| Jakaria et al 2019       | 1.8927 m <sup>2</sup> /g |

## KESIMPULAN

Kesan pelbagai kaedah pengeringan, termasuk FBD dan pengeringan ketuhar terhadap analisis kimia dan fizikal residu sagu telah dikaji secara menyeluruh. Pengeringan FBD pada suhu 80°C dikenal pasti sebagai keadaan optimum dengan kadar pengeringan yang lebih singkat berbanding ketuhar, berjaya mencapai kandungan lembapan akhir yang diinginkan sebanyak 11 wt.% untuk pengeluaran makanan ternakan. Analisis kuantitatif pati dalam residu sagu menunjukkan bahawa sampel FBD mengandungi kandungan pati dan amilosa yang lebih tinggi berbanding pengering ketuhar, hasil daripada peningkatan kandungan amilosa yang bergantung kepada suhu. Sebaliknya, pengering ketuhar menunjukkan kandungan serat yang lebih tinggi berbanding pengering lapisan bendalir.

## PENGHARGAAN

Kajian ini disokong sepenuhnya oleh geran penyelidikan iaitu geran FRGS, FRGS/1/2024/TK05/UKM/02/4 dan geran GUP-2024-061. Para penyelidik ingin mengucapkan penghargaan kepada Kementerian Pendidikan Tinggi (MOHE) dan Universiti Kebangsaan Malaysia atas pembiayaan yang diberikan.

## PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada.

## RUJUKAN

- Alengadan, P. J. 2013. ER ER 2(3): 1–4.
- Amin, N., Sabli, N., Izhar, S. & Yoshida, H. 2019. Sago wastes and its applications. *Pertanika Journal of Science and Technology* 27(4): 1841–1862.
- Anon. 2020. Komoditi 2011/2020. <https://www.pustaka-sarawak.com/eknowbase/attachments/1596527434.pdf>
- Assawarachan, R. 2013. Drying kinetics of coconut residue in fluidized bed 2(2): 263–266.
- Bujang, K. 2010. Production and processing of sago: A food and fuel alternative. International Seminar on Sago & Spices for Food Security. Ambon. Rep. Indonesia 28–29.
- Chong, S. 2015. Catatan dan deskripsi istilah-istilah yang berkaitan dengan sagu dalam masyarakat Melanau. *Jurnal Antarabangsa Alam dan Tamadun Melayu* 3(3): 113–120. doi:10.17576/iman-2015-0303-11
- Chu wattanakul, V. & Eiamsa-Ard, S. 2019. Hydrodynamics investigation of pepper drying in a swirling fluidized bed dryer with multiple-group twisted tape swirl generators. *Case Studies in Thermal Engineering* 13. doi:10.1016/J.CSITE.2018.100389
- Daud, W. R. W. 2008. Fluidized bed dryers — Recent advances. *Advanced Powder Technology* 19(5): 403–418. doi:10.1016/S0921-8831(08)60909-7
- Jiwa Bakti. 2020. PBB Sarawak. <http://pbb.org.my/SarawakEksportHingga50000TanKanjisaguSetahun.html>
- Lai, J. C., Rahman, W. A. W. A. & Toh, W. Y. 2014. Mechanical, thermal and water absorption properties of plasticised sago pith waste. *Fibers and Polymers* 15(5): 971–978. doi:10.1007/S12221-014-0971-8
- Margenot, A. J., Davis, C. & States, U. 2016. Soil Analysis and Applications of IR Spectroscopy 1–8. doi:10.1016/B978-0-12-409547-2.12170-5
- Mustafa Kamal, M., Baini, R., Mohamaddan, S., Selaman, O. S., Ahmad Zauzi, N., Rahman, M. R., Abdul Rahman, N., et al. 2017. Effect of temperature to the properties of sago starch. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 206(1). doi:10.1088/1757-899X/206/1/012039
- Nitz, M. & Taranto, O. P. 2007. Drying of beans in a pulsed fluid bed dryer: Drying kinetics, fluid-dynamic study and comparisons with conventional fluidization. *Journal of Food Engineering* 80(1): 249–256. doi:10.1016/j.jfoodeng.2006.05.025
- Nur Izzati, H. A. N., Nur Tantiyani A. O., Masli I. R. 2024. Analysis on chemical and physical properties of dried sago bagasse. *Jurnal Kejuruteraan*. 1-10.
- Nur Tantiyani A. O. And Norhafizah, M. A. 2022. Characterization of chemical-physical properties on a dried waste of sago pith. *Jurnal Kejuruteraan*: 517-521.
- Nur Tantiyani A. O., Nurfadilah I. S. 2024. Model-driven approach to improve sago drying with a fluidized bed dryer. *Pertanika Journal of Science & Technology*: 1363-1384
- Nururrahmah, H., Budiyo & Sudarno, U. 2018. Physicochemical Characteristic of Sago Hampas and Sago Wastewater in Luwu Regency. E3S Web of Conferences, hlm. Vol. 73. EDP Sciences. doi:10.1051/e3sconf/20187307007

- Rahman, M. R., Hamdan, S., Baini, R. B., Khusairy, M., Bakri, B., Adamu, M., Law, P., et al. 2020. Sago starch-PLA composites. *BioResources* 15(1).
- Subroto, E. 2020. Review on the analysis methods of starch, amylose, amylopectinin food and agricultural products. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research* 8(7): 3519–3524. doi:10.30534/ijeter/2020/103872020
- Sunarti, T. C., Dwiko, M., Derosya, V. & Meryandini, A. 2012. Effect of microwave treatment on acid and enzymes susceptibilities of sago pith. *Procedia Chemistry* 4: 301–307. doi:10.1016/j.proche.2012.06.042
- Wardono, H. P., Agus, A., Astuti, A., Ngadiyono, N. & Suhartanto, B. 2021. Potential of sago hampas for ruminants feed. *E3S Web of Conferences* 306: 05012. doi:10.1051/e3sconf/202130605012
- Yacob, N., Zahari, N. H. A., Mahmud, M., Talip, N., Hashim, K., Abdullah, Z., Fabillah, N. A., et al. 2003. 46123081.
- Zhang, Z. 2020. CO (March 2019). doi:10.1016/j.cemconres.2019.02.016.