

Kajian berskala makmal bagi pengukuran kadar pемendapan (sedimentasi) menggunakan nisbah air yang berbeza bagi penghasilan kanji sagu basah (Lab scale study on the sedimentation rate of wet sago starch production at different water dilution)

Amir Syariffuddeen Mhd Adnan dan Ishak Hashim

Pengenalan

Pokok sagu rumbia (*Metroxylon spp.*) (*Gambar 1*) merupakan sejenis tumbuhan yang mempunyai kandungan kanji yang tinggi jika dibandingkan dengan makanan ruji yang lain di Asia Timur seperti beras. Tumbuhan tropika ini tumbuh subur di kawasan beriklim lembap terutamanya di kawasan yang berpayau. Menurut statistik yang dikeluarkan oleh Jabatan Pertanian tahun 2018, bagi taburan tanah untuk tujuan penanaman pokok sagu rumbia, negeri Sarawak mencatatkan keluasan penanaman yang terbesar di Malaysia iaitu lebih 67,957 hektar merangkumi 43,426 hektar ditanam oleh pekebun kecil dan 24,531 hektar diusahakan secara komersial. Begitu juga dari segi penghasilan produk tepung kanji, daripada dapatan data yang direkodkan oleh Jabatan Pertanian Malaysia tahun 2015, negeri Sarawak juga adalah pengeluar terbesar dengan menyumbang RM164.2 juta pendapatan negara dengan merekodkan nilai pengeluaran tepung sagu di Malaysia mencecah sebanyak 184,163 tan metrik.

Pemprosesan sagu bukanlah satu proses yang merumitkan sama ada menggunakan kaedah tradisional ataupun kaedah moden yang menggunakan mesin dan peralatan elektronik. Secara asasnya, pemprosesan sagu melibatkan beberapa peringkat pemprosesan sebelum produk sagu (sagu basah atau tepung sagu) dapat dihasilkan. Secara ringkasnya, batang sagu matang akan dipilih dari kawasan penanaman sagu sebelum dituai dan dipotong (*Gambar 2*). Kebiasaannya, kematangan sagu dinilai secara fizikal melalui kaedah pemerhatian konvensional ataupun pengalaman operator yang bertugas di ladang tersebut.

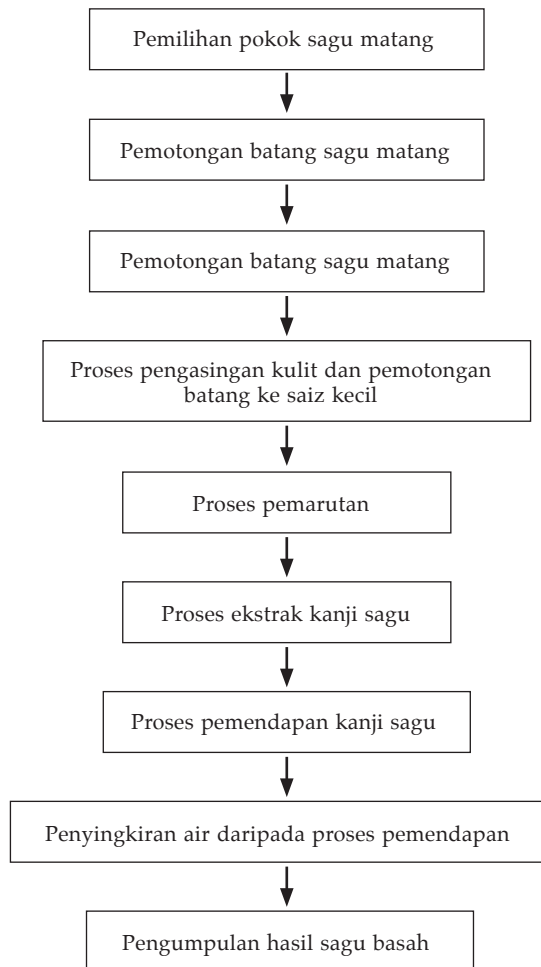


Gambar 1. Pokok sagu



Gambar 2. Pokok sagu yang matang dipilih dan dibuang kulit sebelum dipotong

Ini termasuklah mengetuk batang dan menilai bunyi batang sagu yang diketuk untuk mengangarkan kepadatan kanji dalam batang sagu tersebut. Batang sagu yang dipilih akan dibuang kulit dan dipotong kepada saiz yang lebih kecil sekurang-kurangnya 1 m dengan ukur lilit (diameter) setiap batang sagu yang dipotong kecil diukur. Batang sagu yang telah menjalani proses buang kulit dan pemotongan seterusnya akan diparut dengan menggunakan alat pamarut. Seterusnya sagu yang telah diparut akan dilalu dan dialirkan air sebelum diperah dan ekstrak hasil sagu didapati. Larutan perahan air sagu daripada proses pengekstrakan akan dibiarkan mengalir dan dibiarkan dalam tangki takungan untuk proses pemendapan. Daripada proses pemendapan itu, sagu basah akan termendap dan dikumpulkan setelah air di dalam tangki pemendapan dikeluarkan setelah dibiarkan selama dua jam. Ringkasan pemprosesan sagu basah diringkaskan seperti dalam *Carta alir 1*.



Carta alir 1. Peringkat pemprosesan hasil sagu basah

Walaupun begitu, amalan pemprosesan sagu yang tidak sistematik akan menyumbang kepada penghasilan produk sagu yang tidak optimum. Setiap peringkat pemprosesan sagu perlu diberi perhatian kerana mengikut kajian oleh Vikineswary et al. (1994) masih terdapat 65.7% kanji sagu di dalam hampas setelah proses pengekstrakan. Ini menunjukkan satu kelompok pemprosesan batang sagu hanya menghasilkan 34.3% sagu daripada keseluruhan kanji yang terdapat dalam batang sagu. Oleh itu, setiap peringkat pemprosesan memerlukan penambahbaikan kaedah proses operasi melalui peningkatan keupayaan penghasilan produk yang lebih optimum. Ini termasuklah melalui penggunaan mesin ataupun peralatan yang lebih moden. Salah satu peringkat pemprosesan yang perlu diberi penekanan adalah proses pemendapan ataupun sedimentasi. Ini kerana kaedah atau teknik pemendapan yang dipraktikkan oleh kebanyakan pengusaha kilang sagu adalah menggunakan teknik limpahan (*overflow*). Teknik limpahan ini banyak dipraktikkan oleh pengeluar sagu basah di Sarawak yang bertujuan untuk mengelakkan penggunaan lebih banyak bekas, tetapi kaedah ini menyumbang kepada kerugian hampir 10% hasil pemendapan (sagu basah) daripada jumlah hasil sagu basah yang sepatutnya dapat dihasilkan. Oleh yang demikian, satu kajian berkaitan penentuan nisbah optimum bagi kadar pemendapan untuk penghasilan sagu basah dilakukan. Maklumat yang diperolehi daripada kajian ini boleh menjadi asas dan rujukan bagi mereka bentuk tangki pemendapan untuk proses pemendapan sagu basah yang optimum.

Bahan dan kaedah

Proses penghasilan sagu basah

Batang pokok sagu yang matang telah dipilih dan ditebang menggunakan gergaji berantai dari kawasan tanaman sagu yang berpaya di daerah Labu, Negeri Sembilan. Batang pokok sagu dipotong kepada empat bahagian bersaiz kecil dan dibawa pulang ke Makmal Kejuruteraan Lepastuai, Pusat Penyelidikan Kejuruteraan MARDI Serdang, Selangor untuk peringkat pemprosesan seterusnya. Batang sagu yang telah dipotong kepada saiz kecil diparut dengan menggunakan mesin pamarut kelapa dan 3 kg hasil parutan batang sagu tadi dikumpulkan untuk proses pengekstrakan kanji sagu basah. Proses pengekstrakan dilakukan secara manual yang mana hasil parutan batang sagu tadi dicampur, dikacau dan diuli sebelum campuran ditapis dengan menggunakan kain penyaring dan diperah secara manual untuk mendapatkan kanji sagu (*Gambar 3*). Kanji sagu bersama-sama larutan air daripada proses pengekstrakan dikumpulkan di dalam bekas plastik



Gambar 3. Proses pengekstrakan sagu secara perahan manual

dan dibiarkan untuk proses pemendapan. Lebihan fiber halus yang melalui kain penyaring tadi dikumpulkan semula dan proses pengestrakan diulang. Hasil larutan pengestrakan tadi dikumpulkan lagi ke dalam bekas plastik untuk proses pemendapan yang seterusnya. Proses pemendapan ditetapkan untuk tempoh dua jam dan kemudian lebihan air dikeluarkan untuk pengumpulan sugu basah. Akhirnya, sugu basah yang termendap di dalam bekas plastik dikeluarkan dan ditimbang.

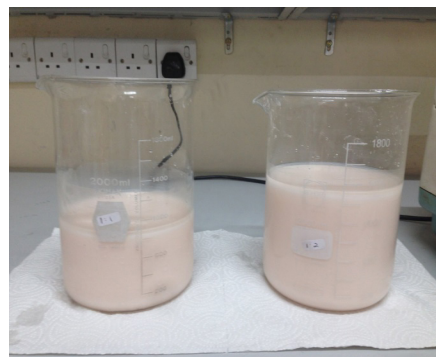
Penentuan nisbah optimum dalam proses pemendapan untuk penghasilan kanji sugu basah

Kanji sugu basah yang dihasilkan tadi akan digunakan untuk penentuan nisbah optimum penghasilan kanji sugu basah daripada proses pemendapan. Eksperimen telah dijalankan di Makmal Kejuruteraan Alam Sekitar, Fakulti Kejuruteraan Universiti Putra Malaysia (UPM) Serdang, Selangor. Sebelum eksperimen dijalankan, bekas volumetrik 2,000 mL kosong berserta berat awal kanji sugu basah yang digunakan direkodkan. Empat nisbah pencairan yang meliputi peratus berat kanji sugu terhadap peratus berat air ditetapkan untuk eksperimen ini iaitu 1:1 (w/w%), 1:1.5 (w/w%), 1:2 (w/w%) dan 1:2.5 (w/w%) seperti dalam *Jadual 1*.

Campuran air dan kanji sugu basah dikacau sehingga kanji sugu melarut keseluruhannya (*Gambar 4*). Seterusnya, larutan tersebut dibiarkan untuk proses pemendapan berlaku sepenuhnya. Masa pemendapan, kekeruhan campuran larutan dan berat sugu basah akan diambil setiap lima minit dan tamat apabila berat sugu basah termendap sepenuhnya (mencapai atau hampir kepada berat awal kanji sugu basah yang direkodkan) untuk setiap nisbah terlibat. Nilai kekeruhan awal (NTU) air direkodkan dengan menggunakan alat pengukur kekeruhan (Turbidity Analyzer, Thermo-Fischer, USA) sebagai rujukan (*Gambar 5*). Taburan saiz partikel daripada kanji sugu basah yang termendap daripada nisbah optimum pula ditentukan dan dianalisis menggunakan alat pengukur taburan saiz partikel [*Particle Size Distribution Analyzer (PSDA)*] Model: Mastersizer 2000, USA seperti dalam *Gambar 6*.

Jadual 1. Parameter nisbah yang digunakan untuk penentuan kadar pemendapan sugu basah

Nisbah (w/w%)	Berat kanji sugu basah (g)	Berat air (g)
1:1	473	473
1:1½	455	682.5
1:2	473	946
1:2½	472	1180



Gambar 4. Larutan campuran air dan kanji sugu biarkan untuk proses pemendapan berlaku



Gambar 5. Alat pengukur kekeruhan untuk mengukur nilai kekeruhan setiap sampel nisbah



Gambar 6. Alat Particle Size Distributor yang digunakan untuk menganalisis saiz partikel sagu basah

Keputusan dan perbincangan

Jadual 2 menunjukkan bahawa untuk setiap parameter nisbah yang digunakan dalam eksperimen ini, kanji sagu basah termendap sepenuhnya dalam tempoh masa 25 – 35 minit. Jika dilihat dari segi profil proses pemendapan yang beratnya diambil untuk setiap sela masa lima minit, didapati untuk tempoh lima minit pertama, taburan sagu basah yang dikumpulkan adalah dalam julat 24.8 – 28.3% dan menghampiri 50% selepas 10 minit. Untuk tempoh 15 minit, berat sagu yang dihasilkan dan termendap untuk nisbah 1:1 adalah paling rendah iaitu 56.7% sedangkan parameter nisbah yang lain merekodkan peratusan hasil melebihi 65%. Begitu juga setelah mencapai 20 minit, hasil yang direkodkan nisbah 1:1 masih yang terendah dengan 75.4% berbanding dengan parameter nisbah yang lain menunjukkan kanji sagu basah termendap untuk tempoh 20 minit iaitu 84 – 95% hasil sagu basah yang termendap. Dua parameter nisbah iaitu 1:1.5 (w/w%) dan 1:2.5 (w/w%) mencapai keseluruhan sagu termendap (100%) manakala nisbah 1:2 (w/w%) merekodkan peratusan 99.3% selepas 25 minit. Berlainan pula dengan nisbah 1:1 (w/w%) yang hanya mencatatkan 84.9% untuk tempoh 25 minit dan stabil pada nilai peratusan maksimum 96.3% walaupun setelah 35 minit proses pemendapan. Jika diperhatikan pada nilai peratusan akhir hasil sagu daripada nisbah 1:1 (w/w%) iaitu 96.3%, baki 3.7% berkemungkinan adalah partikel kanji yang lebih halus iaitu *superfined particle* yang melarut bersama-sama air larutan.

Jadual 3 menunjukkan peningkatan hasil sagu basah untuk setiap sela masa lima minit. Ia menunjukkan taburan peratusan sagu basah yang termendap adalah tidak konsisten untuk setiap sela masa. Sebagai contoh, untuk nisbah 1:1 (w/w%), untuk tempoh 0 – 5 minit pertama hasil yang termendap adalah tinggi iaitu 27.7% dan seterusnya menunjukkan trend menurun pada sela masa 5 – 15 minit. Peratusan turun naik kanji sagu yang dihasilkan dapat dilihat untuk tempoh 15 – 30 minit. Trend yang sama turut menunjukkan nisbah 1:1.5% (w/w%) dan 1:2 (w/w%), tetapi peratusan peningkatan sagu adalah tinggi pada setiap sela

Jadual 2. Pengukuran hasil kanji sagu termendap untuk setiap parameter nisbah pencairan

Masa pemendapan	Nilai nisbah kecairan larutan kanji sagu											
	1:1 (w/w%)			1:1.5 (w/w%)			1:2 (w/w%)			1:2.5 (w/w%)		
	Berat sagu basah (g)	Peratus (%)	Peratus (%)	Berat sagu basah (g)	Peratus (%)	Peratus (%)	Berat sagu basah (g)	Peratus (%)	Peratus (%)	Berat sagu basah (g)	Peratus (%)	Peratus (%)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	131	27.7	113	133.5	24.8	133.5	28.3	131.5	27.9	131.5	27.9	27.9
10	198	45.3	191	211	41.9	211	44.6	230.4	48.8	230.4	48.8	48.8
15	268	56.7	333	311	73.1	311	65.7	333	70.6	333	70.6	70.6
20	357	75.4	430	397	94.5	397	83.9	430	91.1	430	91.1	91.1
25	402	84.9	472	470	100	470	99.3	472	100	472	100	100
30	455	96.3	472	473	100	473	100	472	100	472	100	100
35	455	96.3	472	473	100	473	100	472	100	472	100	100

masa melainkan pada minit 20 – 25 untuk 1:1.5% (w/w%) dan minit 25 – 30 untuk 1:2 (w/w%) yang mana keseluruhan sugu hampir termendap dalam tempoh tersebut. Nisbah 1:2.5 (w/w%) pula menunjukkan taburan peningkatan hasil sugu basah yang konsisten pada setiap sela masa. Jika dilihat purata peningkatan hasil sugu termendap, didapati nisbah 1:1.5 (w/w%) dan 1:2.5 (w/w%) menunjukkan peningkatan yang paling tinggi iaitu 20% masing-masing berbanding dengan 16.7% untuk 1:2 (w/w%) dan 16.1% untuk nisbah 1:1 (w/w%).

Kadar pemendapan setiap sela masa juga direkodkan untuk setiap nisbah. *Jadual 4* menunjukkan kadar pemendapan adalah paling tinggi pada lima minit yang pertama iaitu dalam julat 22.6 – 26.7%. Walaupun begitu, nisbah 1:1 (w/w%) dan 1:1.5 (w/w%) menunjukkan kadar pemendapan dengan trend yang turun naik bermula minit ke-10 sehingga kesemua kanji sugu basah termendap sepenuhnya. Berlainan dengan nisbah 1:2 (w/w%) yang menunjukkan kadar pemendapan yang hampir seragam untuk setiap sela masa. Melihat kepada perbandingan purata kadar pemendapan antara nisbah, didapati nisbah 1:2.5 (w/w%) mempunyai perkadaran yang paling tinggi dengan 22.4 g kanji sugu basah termendap per minit. Profil perkadaran untuk nisbah ini juga menunjukkan perkadaran yang tinggi serta konsisten untuk setiap sela masa. Berdasarkan dapatan dan pemerhatian yang diperolehi daripada analisis dan keputusan eksperimen, dapatlah disimpulkan nisbah 1:2.5 (w/w%) adalah nisbah optimum yang sesuai untuk proses pemendapan bagi menghasilkan produk kanji sugu basah.

Nilai kekeruhan air larutan kanji sugu basah direkodkan sebagai maklumat tambahan untuk melihat kualiti air buangan yang dilepaskan daripada bekas takungan pemendapan. Maklumat ini berpotensi digunakan sebagai penentuan

Jadual 3. Peningkatan hasil kanji basah termendap untuk setiap parameter nisbah

Masa pemendapan (min.)	Peratusan peningkatan berat kanji basah			
	Nisbah 1:1 (w/w%)	Nisbah 1:1.5 (w/w%)	Nisbah 1:2 (w/w%)	Nisbah 1:2½ (w/w%)
0 – 5	27.7	24.8	28.3	27.9
5 – 10	17.6	17.1	16.3	20.9
10 – 15	11.4	31.2	21.1	21.8
15 – 20	18.7	21.4	18.2	20.5
20 – 25	9.5	5.5	15.4	8.9
25 – 30	11.4	-	0.7	
30 – 35		-		
Purata peningkatan hasil kanji sagu basah	16.1	20.0	16.7	20.0

Jadual 4. Kadar pemendapan bagi setiap parameter nisbah yang terlibat

Masa pemendapan (minit)	Kadar pemendapan (g/minit)			
	Nisbah 1:1 (w/w%)	Nisbah 1:1.5 (w/w%)	Nisbah 1:2 (w/w%)	Nisbah 1:2.5 (w/w%)
5	26.2	22.6	26.7	26.3
10	19.8	19.1	21.1	23.0
15	17.9	22.2	20.7	22.2
20	17.9	21.5	19.9	21.5
25	16.1	18.9	18.8	18.9
30	15.2	-	15.8	
Purata kadar pemendapan (g/minit)	18.8	20.9	20.5	22.4

kualiti air untuk tujuan rawatan air dan juga kesannya kepada ekosistem di kawasan air dilepaskan daripada proses pemendapan ini. Ini kerana nilai kekeruhan air yang tinggi berpotensi untuk mempengaruhi kadar penembusan cahaya kepada sumber air serta mengganggu ekosistem hidupan dan mikroorganisma akuatik.

Daripada *Jadual 5*, didapati bahawa taburan nilai kekeruhan awal pada setiap parameter nisbah adalah berbeza-beza. Jika dilihat dari segi perbandingan nisbah, nisbah 1:1 (w/w%) menunjukkan nilai kekeruhan yang sangat tinggi iaitu 67360 NTU dibandingkan dengan nisbah-nisbah yang lain. Peningkatan nisbah air kepada berat kanji sagu basah untuk parameter 1:1.5 (w/w%), 1:2 (w/w%) dan 1:2.5 (w/w%) telah menurunkan nilai kekeruhan disebabkan penurunan kepekatan larutan campuran air dan sagu kesan proses pencairan. Pada lima minit pertama, nilai kekeruhan menurun dengan agak drastik untuk kesemua nisbah. Walau bagaimanapun, penurunan nilai kekeruhan untuk nisbah 1:1 (w/w%), 1:1.5 (w/w%) dan 1:2 (w/w%) menunjukkan trend penurunan yang tidak konsisten terutamanya pada 10 minit tempoh pemendapan. Ini berkemungkinan disebabkan oleh taburan makromolekul iaitu

Jadual 5. Taburan nilai kekeruhan larutan air kanji sagu basah untuk setiap parameter nisbah

Masa pemendapan (minit)	Nilai kekeruhan larutan air kanji sagu basah (NTU)			
	Nisbah 1:1 (w/w%)	Nisbah 1:1½ (w/w%)	Nisbah 1:2 (w/w%)	Nisbah 1:2½ (w/w%)
0	67360	21540	8500	12473
5	18840	15376	7420	8851
10	14307	17080	10850	6085
15	16720	9810	5700	2903
20	10860	1706	4980	2665
25	8365	51.9	994	61.7
30	83	29.7	63	31.5
35	269			

Nilai kekeruhan awal air (air suling): 2.46 NTU

partikel sagu basah bersaiz besar yang masih belum termendap dalam tempoh masa 10 minit pemendapan untuk nisbah-nisbah tersebut. Selepas 10 minit, penurunan nilai kekeruhan berlaku secara konsisten sehinggalah nilai kekeruhan mencatatkan nilai bawah 100 NTU apabila keseluruhan sagu basah selesai termendap. Walaupun begitu, nisbah 1:1 (w/w%) menunjukkan sedikit kenaikan nilai kekeruhan pada 35 minit. Ia kemungkinan disebabkan oleh kehadiran mikropartikel (*superfined particle*) yang dipecahkan daripada makropartikel melalui proses mengacau larutan semasa penyediaan larutan untuk 35 minit proses pemendapan. Sebaliknya berlaku kepada nisbah 1:2.5 (w/w%) yang menunjukkan trend penurunan kekeruhan yang konsisten sehingga pada minit 30 yang mana keseluruhan kanji sagu basah telah termendap sepenuhnya.

Jika dilihat pada nilai akhir kekeruhan larutan air untuk setiap nisbah, nilai kekeruhan adalah dalam julat 31.5 – 269 NTU. Julat nilai kekeruhan ini masih dikira tinggi dan tidak memenuhi piawaian kualiti air yang dibenarkan untuk sumber air bagi kawasan hidupan akuatik dan rekreasi (*Jadual 6*). Oleh yang demikian, perawatan air dicadangkan supaya nilai kekeruhan dapat direndahkan dan dapat mengelakkan daripada gangguan ekosistem sekiranya air tersebut dilepaskan ke persekitaran. Begitu juga sekiranya air yang dilepaskan ini mahu digunakan sebagai sumber air kitar semula untuk tujuan pertanian, proses perawatan juga hendaklah dilakukan supaya nilai kekeruhan dapat dikurangkan sehingga ≤ 5 NTU dan ia juga bergantung kepada faktor-faktor lain yang perlu diambil kira seperti kandungan logam berat, BOD, *E. coli* dan lain-lain.

Jadual 7 menunjukkan taburan saiz partikel yang ditentukan daripada sagu basah yang terhasil daripada proses pemendapan menggunakan nisbah 1:2.5 (w/w%), iaitu nisbah optimum berdasarkan keputusan eksperimen yang diperolehi. Daripada julat saiz partikel yang ditetapkan oleh alat pengukur taburan

saiz partikel, *Particle Size Distribution Analyzer* (PSDA), sebahagian besar saiz partikel kanji sagu ini bertumpu pada saiz 20 – 40 mikron iaitu sebanyak 88.78%. Ini meliputi taburan saiz tertinggi pada 30.2 mikron dengan 21.21%, diikuti 34.674 mikron (19.59%), 26.303 mikron (18.32%), 39.811 mikron (13.33%), 22.909 mikron (10.7%) dan 19.953 mikron sebanyak 5.63%. Taburan saiz partikel selebihnya adalah sebanyak 9.7% partikel bersaiz melebihi 40 mikron dan 1.52% bersaiz kurang daripada 20 mikron. Purata luas permukaan spesifik yang ditentukan pula ialah 0.187 m²/g.

Jadual 6. Piawaian nilai kekeruhan sumber air

Kelas	Nilai kekeruhan (NTU)	Keterangan	Sumber
2A	25	Sumber air untuk perikanan/ kawasan rekreasi	Agensi Kawalan Pencemaran Minnesota (2018), Turbidity: Description, Impact on Water Quality, Sources, Measures - A General Overview, page 2
2B	25	Sumber air untuk perikanan/ air suam/sejuk/semua kawasan rekreasi	Alcalde-Sanz, L. and Gawlik, B.M, (2017), Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge, European Commission- J RC Science for Policy Report, page:19
A	≤5	Kualiti air untuk tujuan pengairan pertanian	

Jadual 7. Keputusan taburan saiz partikel dalam kanji sagu basah

Saiz (μm)	Peratus (%)
15.136	0.180
17.378	1.340
19.953	5.630
22.909	10.700
26.303	18.320
30.200	21.210
34.674	19.590
39.811	13.330
45.709	6.870
52.481	2.420
60.256	0.400
69.183	0.010
Jumlah	100
Purata luas permukaan spesifik	0.187 m ² /g

Ringkasan

Kajian yang dijalankan menunjukkan nisbah berat sago basah kepada kuantiti air mempengaruhi kadar pemendapan kanji sago dalam proses pemendapan. Nisbah yang sesuai dapat memberikan kadar pemendapan yang konsisten dan efektif melalui proses pemendapan yang lebih singkat dengan penghasilan produk yang tinggi. Daripada dapatan kajian yang dijalankan, nisbah 1:2.5 (w/w%) dianggap nisbah yang paling optimum dari segi masa pemendapan yang singkat (25 minit) untuk hasil pemendapan mendap sepenuhnya serta menunjukkan kadar pemendapan yang konsisten dan tinggi. Nisbah optimum ini akan digunakan sebagai maklumat asas yang boleh membantu dalam pembangunan tangki pemendapan berskala industri bagi penghasilan kanji sago basah oleh usahawan industri kecil dan sederhana di Sarawak.

Summary

The study showed that the ratio of the weight of wet sago to the quantity of water has significant effect on the production rate of sago starch in the sedimentation process. Proper ratios can provide consistent and effective on sedimentation activity through on shorter sedimentation processes with high product yield. From the findings of the study, the 1: 2.5 (w/w%) ratio should be considered to be the optimum ratio in terms of shortest time (25 minutes) to complete sedimentation activity with consistent and high sedimentation rates. This optimum ratio obtained recommended to be used as reference information for the development of industrial scale sedimentation tank for the production of wet sago starch to small and medium scale entrepreneurs in Sarawak.

Bibliografi

- Karim, A.A., Pei-Lang Tie, A., Manan, D.M.A. dan Zaidul, I.S.M. (2008). Starch from the Sago (*Metroxylon sago*) Palm Tree—Properties, Prospects, and Challenges as a New Industrial Source for Food and Other Uses. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* Vol. 7: 213 – 228
- Alcalde-Sanz, L. dan Gawlik, B.M. (2017). Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge, European Commission- JRC Science for Policy Report, m.s. 19
- Darma. (2015). Development of Sago Starch Processing Equipment. PhD thesis, Mie University Japan
- Darma, P.I. dan Sarunggallo, Z.L. (2010). Starch content and production potency of natural sago palm (*Metroxylon sago* Rottb). *Agrotek Journal* 2(2): 7 – 14
- DOA (2018). Department of Agriculture. Malaysia Industrial Crops Statistics, Putarajaya
- DOA (2015). Department of Agriculture. Malaysia Industrial Crops Statistics, Putarajaya
- Manan, D.M.A. (2011). Optimization of sago starch extraction using drum rasper in Proc. 10th Int. Sago Symposium: Sago for food security, Bio-energy, and Industry From Research to Market, 93 – 95. Bogor 29 – 31 October
- Minnesota Pollution Control Agency (2018). Turbidity: Description, Impact on Water Quality, Sources, Measures - A General Overview, m.s. 2
- Vikineswary, S., Shim, Y.L., Thambirajah, J.J. dan Blakebrough, N. (1994). Possible microbial utilization of sago processing wastes. Resources, Conservation and Recycling, 11: *Elsevier Science* B.V. m.s. 289 – 296
- Yamamoto (2014). Sago as an Approach to Food and Nutritional Security. The Global Food Security Forum, Kuala Lumpur

Pengarang

Amir Syariffuddeen Mhd. Adnan
Pusat Penyelidikan Padi dan Beras, Ibu Pejabat MARDI
Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang, Selangor
E-mel: asyariff@mardi.gov.my

Ishak Hashim
Pusat Kecemerlangan Penyelidikan Tanaman Industri
MARDI Bachok, Kampung Aur
Mukim Jalan Kandis, 16310, Bachok, Kelantan