

PERBAIKAN KUALITAS TEPUNG UBI JALAR PUTIH DENGAN IKAT SILANG ASAM AMINO OLEH ENZIM TRANSGLUTAMINASE

Sapta Raharja^{*}, Mardino Putra Sutrabalsa

*Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian,
IPB University, Bogor, Indonesia*

Article history

Diterima:

xx bulan tahun

Diperbaiki:

xx bulan tahun

Disetujui:

xx bulan tahun

Keyword

White sweet potato flour;

Transglutaminase enzyme; Cross-linking; Modified.

ABSTRACT

Application of white sweet potato flour, needs to be done in improving the functional properties of flour. Cross-linking between amino acids with transglutaminase enzyme is one of the efforts to improve functional properties so that it can improve the quality of white sweet potato flour. The treatment in this study was the difference in transglutaminase enzyme concentration of 4 U/g, 8 U/g and 12 U/g. The tests in this study were water content, ash content, protein content, viscosity and granularity. The addition of different concentrations of transglutaminase enzyme resulted in differences in the protein content of white sweet potato flour. The protein content is the main issue in this study that can be increased by modifying the cross-linking of white sweet potato flour. Modified white sweet potato flour is known to give the best results with the addition of transglutaminase enzyme at a concentration of 8 U/g. The modified white sweet potato flour had a moisture content of 11.07%, an ash content of 2.53%, a protein content of 7.20%, a viscosity of 4.999 mPa.s and an average particle size of 12 µm.

© hak cipta dilindungi undang-undang

* Penulis korespondensi

Email :

doi

PENDAHULUAN

Ubi jalar (*Ipomoea batatas L.*) merupakan salah satu komoditas yang tersebar di wilayah tropis maupun sub tropis seperti di Indonesia. Komoditas ini termasuk salah satu komoditas utama sebagai penghasil sumber karbohidrat yang tinggi setelah padi, jagung dan ubi kayu (Setyaningsih 2017). Indonesia sendiri banyak menanam tanaman ubi jalar putih di berbagai wilayah seperti di Jawa, Sumatera, dan Sulawesi karena komoditi ini memiliki daya tahan yang baik terhadap kondisi lingkungan dan mampu tumbuh pada lahan yang kurang subur. Ubi jalar dapat dimanfaatkan sebagai bahan campuran pangan, pakan ternak, bahan baku industri, maupun bahan baku ekspor. Industri tepung dan pati menjadi salah satu industri pengolahan yang berkembang saat ini (Hafsa 2004).

Ubi jalar mengandung karbohidrat dalam jumlah yang relatif tinggi, sehingga komoditi ini mempunyai potensi besar untuk dikembangkan sebagai sumber karbohidrat bahan pangan dalam upaya diversifikasi pangan. Pada tahun 2018 menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukkan produksi ubi jalar terbesar kedua berada di Pulau Jawa yaitu terdapat di wilayah Jawa Timur dengan hasil produksi mencapai 257.414 ton (Lestari *et al.* 2023). Peningkatan produksi ubi jalar di Indonesia dapat didorong dengan perbaikan teknik budidaya tanaman, pengendalian hama, penyediaan unsur hara tanaman, serta penanganan, dan penanganan ubi jalar setelah panen.

Ubi jalar mempunyai peluang yang baik untuk dikembangkan sebagai bahan pangan alternatif karena kandungan gizinya yang tinggi. Salah satu pemanfaatan utama dari ubi jalar putih yang semakin populer adalah sebagai bahan baku untuk pembuatan tepung ubi jalar. Tepung yang dihasilkan dari ubi jalar putih memiliki berbagai keunggulan, di antaranya rendah gluten, memiliki kandungan serat yang tinggi, dan tekstur yang halus. Pengolahan ubi jalar menjadi tepung tentunya dapat meningkatkan nilai tambah seperti umur simpan yang lebih lama, transportasi dan penyimpanan yang mudah, serta dapat dibuat menjadi bahan untuk berbagai produk pangan.

Namun, kandungan protein yang dimiliki dari tepung ubi jalar putih termasuk rendah sekitar 0.26% berdasarkan penelitian Santosa (2016) dan 1.31% berdasarkan penelitian Liur (2014). Hal ini tentunya mempengaruhi kualitas tepung ubi jalar putih yang membatasi penggunaannya dalam produk makanan yang membutuhkan protein tinggi, seperti produk bakery, mie, atau pangan fungsional, kekurangan lainnya yaitu jika diolah dengan proses yang tidak tepat. Proses pembuatan tepung ubi jalar putih yang tidak tepat dapat menurunkan nilai mutu tepung, dimana hasil yang didapatkan akan berwarna gelap, kusam, atau kecokelatan dan menghasilkan bau apek. Juga menghasilkan kandungan lemak yang lebih rendah, kandungan abu yang dihasilkan juga meningkat dari pada tepung jagung, dan juga memiliki gluten lebih sedikit dari pada tepung terigu (Triyas *et al.* 2021).

Kualitas tepung ubi jalar tentunya dapat diperbaiki dengan memodifikasi protein menggunakan enzim melalui pembentukan ikatan silang. Salah satu enzim yang digunakan adalah enzim transglutaminase yang mampu memperbaiki sifat fisiko-kimia tepung ubi jalar. Enzim transglutaminase bekerja dengan mengkatalisis gugus asil dari residu asam amino lisin pada satu protein ke gugus karboksiamida pada residu asam amino glutamin pada protein yang sama atau protein lain sehingga membentuk ikatan silang. Enzim ini dapat mengkatalisis pembentukan ikatan silang antar molekul protein yang dapat memperbaiki struktur dan sensori suatu produk pangan (Mayashopa *et al.* 2015).

Berdasarkan hal tersebut, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh perbaikan maupun peningkatan sifat fungsional dari proses modifikasi *cross-linking* terhadap tepung ubi jalar putih dan memperoleh kondisi terbaik dari perlakuan konsentrasi yang dilakukan sehingga diharapkan menghasilkan produk yang memiliki karakteristik yang lebih baik.

METODE

Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan terdiri dari tepung ubi jalar putih yang didapatkan dari toko online, enzim transglutaminase yang

diperoleh dari PT. Agung Mulia Chemindo (aktivitas enzim 18 U/g) dan asam amino (lisin dan glutamin) diperoleh dari toko online. Bahan kimia untuk analisis terdiri dari larutan NaOH, asam asetat, heksana, K₂SO₄, H₂SO₄ pekat, NaOH-Na₂S₂O₃, HCL 0.05 N, metil merah, metil biru, dan H₃BO₃. Alat yang digunakan adalah cetakan kue aluminium foil, mixer, oven listrik, timbangan, pengaduk, dan peralatan kimia lain untuk analisis seperti: cawan porselen, cawan alumunium, labu kjedahl, tabung reaksi, erlenmeyer, tanur, desikator, dan alat destilasi.

Pembuatan Formulasi Modifikasi Ikat Silang (*Cross- Linking*) Tepung Ubi Jalar Putih

Pembuatan formulasi yaitu tepung ubi jalar putih sebanyak 100 gram dilakukan modifikasi *cross-linking* dengan konsentrasi asam amino lisin dan glutamin sebesar 12% dengan perbandingan (1:1) dan enzim transglutaminase 4 U/g, 8 U/g dan 12 U/g ditambahkan air sebanyak 3 kali berat tepung ubi jalar putih. Kemudian dilakukan pengadukan menggunakan mixer dengan kecepatan 1x pada suhu 50°C selama 15 menit. Kemudian diratakan pada wadah datar sehingga dapat dikeringkan dalam oven blower selama 16-18 jam pada suhu 45°C. Setelah itu dilakukan pengilingan dan pengayakan menggunakan saringan 80 mesh sehingga menghasilkan tepung ubi jalar putih modifikasi *cross-linking* (Nuraisyah *et al.* 2018).

Metode Penelitian

Penelitian ini meliputi analisis karakteristik fisik dan kimia tepung ubi jalar putih. Parameter yang diamati adalah rendemen dan viskositas serta bentuk granula pati tepung ubi jalar putih. Sedangkan karakteristik kimia tepung ubi jalar putih yang diamati adalah kadar air, kadar abu, dan kadar protein.

Analisis Parameter

Kadar Air

Analisis kadar air dilakukan dengan metode oven sesuai metode pada SNI 3751:2009 yang diawali dengan memanaskan cawan timbang beserta tutupnya dengan oven pada suhu (130 ± 3) °C selama satu jam, lalu didinginkan dalam desikator selama 30 menit

dan ditimbang. Kemudian 10 g sampel ditimbang ke dalam cawan timbang. Sampel dikeringkan dalam keadaan terbuka pada cawan timbang dalam oven dengan suhu (130 ± 3) °C selama satu jam (satu jam setelah suhu oven 130°C). Kemudian didinginkan dalam desikator selama 30 menit dan ditimbang. Lakukan duplo. Hitung kadar air dalam sampel. Kadar air dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Kadar air (\% b/b)} = \frac{(w-w_1)}{(w)} \times 100\%$$

Keterangan :

W = bobot awal contoh (g)

W₁ = bobot awal contoh setelah dipanaskan (g)

Kadar Abu

Analisis kadar abu dilakukan sesuai dengan metode SNI 3751:2018. Pertama, cawan porselen dipanaskan dalam tanur listrik pada suhu 550°C, yang sebelumnya dipanaskan dahulu pada penangas listrik/bunsen dengan nyala api kecil selama 1 jam, kemudian didinginkan dalam desikator. Setelah dingin, cawan ditimbang dan dicatat beratnya. Kemudian 15 g sampel dimasukkan ke dalam cawan lalu dibakar di atas nyala pembakar sampai tidak berasap dan dilanjutkan dengan pengabuan di dalam tanur hingga diperoleh abu berwarna putih selama 5 sampai 8 jam. Sampel yang sudah diabukan didinginkan dalam desikator selama 30 menit dan ditimbang. Lakukan pengulangan sampai diperoleh bobot konstan, lakukan duplo. Kadar abu dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Kadar abu (\% b/b)} = \frac{W_2-W_1}{W-W_1} \times 100\%$$

Keterangan :

W = bobot cawan kosong dan bobot contoh (g),

W₁ = bobot cawan kosong (g),

W₂ = bobot cawan kosong dan abu (g).

Kadar Protein

Analisis kadar protein dilakukan dengan metode kjedahl pada SNI 3751:2009. Sampel sebanyak 0.1 g ditambahkan 1 g campuran katalis CuSO₄.5H₂O dan 5 ml H₂SO₄ pekat.

Panaskan campuran dalam pemanas listrik sampai mendidih dan larutan menjadi jernih kehijau-hijauan. Lakukan dalam lemari asam atau lengkapi alat destruksi dengan unit pengisap asap. Biarkan dingin, kemudian encerkan dengan air suling secukupnya. Tambahkan 15 ml atau lebih larutan NaOH 30 % sampai berlebih (periksa dengan indikator PP dimana campuran diharapkan menjadi basa). Sulingkan selama 5 menit sampai dengan 10 menit atau saat larutan distilat telah mencapai kira-kira 150 ml, dengan penampung distilat adalah 50 ml larutan H_3BO_3 , 2 % yang telah diberikan beberapa tetes campuran indikator mengsel (MM + MB). Bilas ujung pendingin dengan air suling. Titar larutan campuran distilat dengan lamutan HCl 0,05 N. Kerjakan penetapan blanko. Berikut perhitungan kadar protein.

$$\text{Kadar Protein (\%)} = \frac{(vs - vb) \times N \times 14.008 \times 6.25}{w} \times 100\%$$

Keterangan :

- Vs = volume HCl untuk titrasi sampel (mL)
- Vb = volume untuk titrasi blanko (mL)
- N = normalitas larutan HCl (N)
- W = berat sampel (mg)

Analisis viskositas dengan viskometer Brookfield

Uji viskositas dilakukan dengan metode yang dilakukan Wukisari *et al.* (2022) menggunakan alat viskometer Brookfield. Sebanyak 5 g sampel tepung ubi jalar putih dalam 500 mL akuades dipanaskan di penangas air mendidih selama 20 menit sambil diaduk. Larutan kemudian didinginkan sampai 50 °C dan diukur viskositasnya menggunakan viskometer Brookfield dengan spindle nomor 1 dan kecepatan 30 rpm.

Granula

Uji granula dilakukan menggunakan mikroskopis untuk mempelajari sifat morfologi sampel. Uji granula dilakukan dengan mengambil 0,1 gram tepung ubi jalar

putih pisang, kemudian ditaburkan pada kaca objek, lalu ditetesi sedikit air dan diratakan. Ditutup dengan kaca penutup dan diamati dengan mikroskop pada pembesaran 400x.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Bahan Baku

Karakterisasi tepung ubi jalar putih bertujuan untuk mengetahui sifat fisikokimia dan kualitas tepung ubi jalar putih yang digunakan dalam penelitian. Hasil karakterisasi tepung ubi jalar putih disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik fisiko kimia tepung ubi jalar putih

Kriteria Uji	Hasil
Kadar Air (%)	8.14 ± 0.01
Kadar Abu (%)	3.08 ± 0.02
Kadar Protein (%)	0.57 ± 0.06
Ukuran Granula	$10.27 \mu\text{m}$
Viskositas	$2.799 \text{ mPa}\cdot\text{s}$

Kadar air tepung ubi jalar yang dihasilkan mendapatkan nilai sebesar 8.14%. Hasil tersebut tentunya sudah sesuai dengan standar acuan SNI 3751:2009. Sehingga tepung ubi jalar putih memiliki kualitas yang baik dan tidak rentan dari kerusakan kimiawi maupun mikrobiologi selama penyimpanan (Gita dan Danuji 2018).

Pengujian kadar abu tepung ubi jalar putih menghasilkan nilai sebesar 3.08%, kadar abu yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan kadar abu hasil uji Santosa *et al.* (2016) sebesar 1.998%. Berdasarkan hasil tersebut kadar abu yang diperoleh belum memenuhi kadar abu menurut SNI 3751:2018 untuk tepung terigu yaitu maksimal 0.70%. Nilai yang berbeda ini dipengaruhi dari beberapa faktor seperti varietas bahan baku yang digunakan, kondisi tanah, iklim, serta kematangan bahan yang menyebabkan belum memenuhi SNI 3751:2018 (Saeid *et al.* 2015). Kadar abu tepung ubi jalar putih sangat mempengaruhi kualitas produk akhir. Nilai yang rendah menunjukkan tepung memiliki kualitas yang baik.

Kadar protein hasil pengujian menghasilkan nilai sebesar 0.57%, Hasil

tersebut lebih besar jika dibandingkan dengan kadar protein hasil pengujian yang dilakukan Santosa *et al.* (2016) yaitu sebesar 0.26%. Kadar protein tepung ubi jalar putih berdampak pada pengembangan volume produk akhir. Semakin rendah kadar protein pada tepung yang dihasilkan maka akan semakin menurunkan pengembangan volume produk olahan seperti roti (Nuraisyah *et al.* 2018).

Tabel 2. Hasil analisis karakteristik kimia tepung ubi jalar putih modifikasi dari pengaruh konsentrasi asam amino dan enzim transglutaminase

Perlakuan tepung modifikasi TGase (U/g)	Variabel Respon		
	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Protein (%)
Kontrol	8.14 ± 0.01	3.08 ± 0.02	0.57 ± 0.06
4	11.39 ± 0.37ab	2.76 ± 0.00b	5.16 ± 0.73a
8	11.07 ± 0.25a	2.53 ± 0.09a	7.20 ± 0.27a
12	12.65 ± 0.30b	2.53 ± 0.04a	6.19 ± 0.47a

*% asam amino konstan 12% (1:1)

Karakteristik Kimia Tepung Ubi Jalar Modifikasi

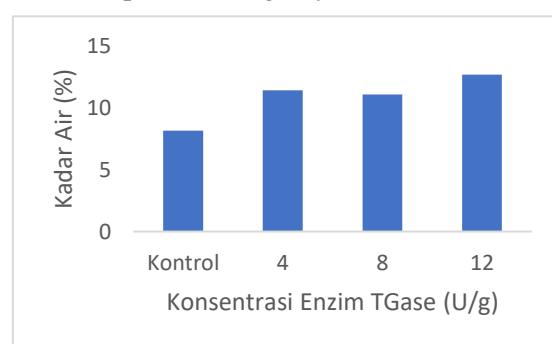
Kadar Air

Kadar air suatu bahan pangan umumnya digunakan sebagai indikator penentuan mutu bahan pangan. Kadar air yang terlalu tinggi dapat memicu pertumbuhan mikroorganisme seperti bakteri, jamur, dan ragi, yang dapat menyebabkan kerusakan bahan pangan. Sebaliknya, kadar air yang terlalu rendah dapat memengaruhi tekstur, rasa, dan kualitas produk akhir. Kandungan kadar air yang dihasilkan pada berbagai perlakuan konsentrasi dari tepung ubi jalar modifikasi *cross-linking* meningkat. Tingginya kadar air yang dihasilkan kemungkinan disebabkan oleh kemampuan enzim untuk memodifikasi struktur protein, yang memungkinkan bahan menyerap lebih banyak air. Hal ini berarti bahwa faktor konsentrasi enzim transglutaminase memberikan pengaruh terhadap respons kadar air.

Nilai kandungan air pada tepung ubi jalar putih modifikasi dengan konsentrasi enzim transglutaminase 4 U/g, 8 U/g, dan 12 U/g yang dihasilkan pada Tabel 2 masih lebih rendah dari kadar air tepung terigu dengan nilai maksimum berdasarkan SNI 3751:2009 yaitu 14.5 %. Kadar air yang diperoleh berkisar 11.07-12.65%. Gambar 1 menunjukkan grafik

nilai kadar air terhadap konsentrasi enzim transglutaminase. Terlihat kadar air tertinggi pada gambar 1 berada pada perlakuan konsentrasi enzim 12 U/g. Kandungan air hasil analisa ini cukup baik karena telah mencapai kisaran kandungan air yang aman yaitu kurang dari 14.5 persen.

Kadar air tepung ubi jalar putih dipengaruhi oleh kadar air awal umbi ubi jalar putih segar, lama pengeringan dan suhu pengeringan. Secara umum, kandungan air hasil pertanian memiliki nilai yang bervariasi karena adanya pengaruh dari faktor-faktor genetik, lingkungan dan tingkat kemasakan. Bahan pangan dengan kadar air rendah cenderung memiliki umur simpan yang lebih lama karena risiko kerusakan mikrobiologis lebih kecil. Umur simpan tepung yang dihasilkan dapat lebih panjang dibandingkan umur simpan umbi segarnya (Putri *et al.* 2017).



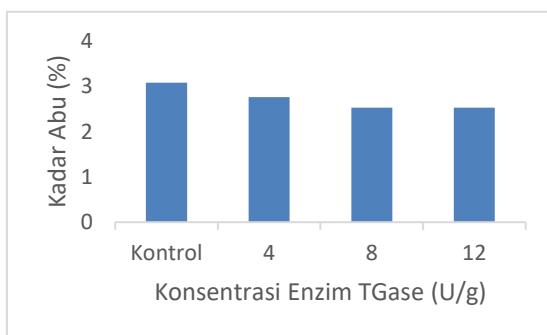
Gambar 1 grafik nilai kadar air tepung ubi jalar putih modifikasi

Kadar Abu

Kandungan abu pada bahan pangan biasanya dimanfaatkan sebagai penanda kualitas bahan tersebut. Penetapan kadar abu bertujuan untuk menilai apakah proses

pengolahan yang dilakukan baik, kemudian juga dapat mengenali jenis bahan yang dipakai, serta menjadi parameter dalam nilai gizi dari bahan pangan tersebut (Nuraisyah *et al.* 2018).

Pengujian kadar abu pada tepung ubi jalar putih modifikasi yang dihasilkan terlihat dalam tabel 2 yang menunjukkan hasil karakterisasi kadar abu tepung ubi jalar modifikasi *cross-linking*. Gambar 2 menunjukkan hasil dari kadar abu tepung ubi jalar modifikasi diketahui akan menurun seiring dengan peningkatan konsentrasi pada enzim transglutaminase. Kadar abu yang dihasilkan lebih rendah dari kadar abu tepung ubi jalar putih kontrol. Kadar abu yang diperoleh berkisar 2.53-2.76%. Sedangkan kadar abu kontrol sebesar 3.08%. Menurut Ambarsari *et al.* (2009), menyatakan bahwa tepung yang dihasilkan dari beberapa varietas ubi jalar di Indonesia memiliki kandungan abu rata-rata 4.17%, dengan kisaran antara 2.58 – 5.31%. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini terkait kadar abu tepung ubi jalar modifikasi sudah sesuai dengan literatur karena berada di bawah rata-rata kandungan abu dari beberapa varietas ubi jalar di Indonesia. Dengan demikian, hasil ini menunjukkan bahwa enzim transglutaminase memberikan pengaruh yang baik pada kualitas tepung ubi jalar modifikasi, khususnya pada kandungan mineral yang tercermin dari kadar abu.



Gambar 2 grafik nilai kadar abu tepung ubi jalar putih modifikasi

Protein

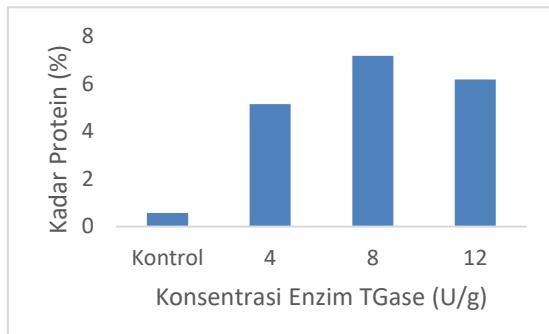
Hasil analisa kadar protein tepung ubi jalar modifikasi seperti yang terlihat pada tabel 2 menunjukkan kadar protein terendah diperoleh pada perlakuan konsentrasi enzim 4 U/g dengan nilai 5.16% dan kadar protein tertinggi pada perlakuan konsentrasi enzim 8 U/g yaitu 7.20%. Kadar protein yang

dihadarkan dari tepung ubi jalar putih modifikasi *cross-linking* menghasilkan hasil yang jauh lebih besar dari tepung ubi jalar putih kontrol 0.57 %. Hasil ini mengindikasikan bahwa perlakuan dari penambahan konsentrasi enzim transglutaminase memberikan pengaruh terhadap respon peningkatan kadar protein yang disebabkan karena proses ikat silang yang dilakukan oleh enzim transglutaminase ini telah berhasil mengikat asam amino lisin dan glutamin sehingga menghasilkan kadar protein yang tinggi.

Peningkatan kadar protein pada tepung ubi jalar modifikasi *cross-linking* ini berkaitan erat dengan mekanisme kerja enzim transglutaminase. Enzim ini melakukan reaksi ikat silang antara residu asam amino lisin dan glutamin pada molekul protein, yang menyebabkan terbentuknya struktur protein yang lebih kompleks (Amalia *et al.* 2023). Gambar 3 menunjukkan grafik nilai kadar protein tepung ubi jalar putih modifikasi. Sumber protein tepung modifikasi ini berasal dari ikat silang asam amino oleh enzim transglutaminase. Semakin tinggi kandungan protein maka semakin tinggi pengaruh penggunaan tepung untuk dijadikan sebagai adonan berupa roti yang meningkatkan pengembangan volume adonan dan berdampak pula pada produk akhir yang dihasilkan (Nuraisyah *et al.* 2018).

Peningkatan kadar protein dalam tepung ubi jalar putih modifikasi menunjukkan keberhasilan penerapan teknik ikat silang (*cross-linking*). Kandungan protein tertinggi yang dicapai sebesar 7,20% pada aktivitas enzim 8 U/g, yang merepresentasikan kondisi enzimatik paling optimal dalam membentuk ikatan antara lisin dan glutamin. Kondisi ini dapat dijelaskan melalui peningkatan densitas ikatan silang yang tidak hanya memperkuat struktur kerangka protein, tetapi juga memperbaiki dan meningkatkan interaksi hidrogen antar molekul protein (Suprayitno dan Sulistiyati 2017). Pendugaan yang terjadi pada aktivitas enzim 12 U/g yang mengalami penurunan kadar protein, kemungkinan disebabkan kehilangan fleksibilitas dan kapasitas untuk membentuk jaringan yang optimal dari struktur protein yang terlalu padat, sehingga dapat menghambat interaksi

tambahan antara molekul protein dan reaktan lainnya.

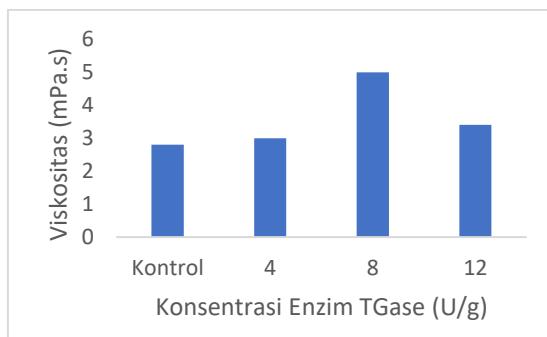


Gambar 3 grafik nilai kadar protein tepung ubi jalar putih modifikasi

Viskositas

Viskositas dalam tepung ubi jalar adalah ukuran kemampuan larutan untuk menahan tegangan geser yang terkait dengan interaksi molekul-molekul penyusunnya, seperti pati, protein, dan serat. Gambar 4 adalah hasil viskositas yang dihasilkan dari tepung ubi jalar putih modifikasi. Berdasarkan hasil tersebut tepung ubi jalar putih tanpa perlakuan enzim transglutaminase (kontrol), nilai viskositas yang diperoleh sebesar 2.799 mPa.s. Penambahan enzim transglutaminase pada konsentrasi 4 U/g, viskositas meningkat menjadi 2.999 mPa.s. Hal ini menunjukkan bahwa protein berikanan silang, yang membentuk struktur larutan, meskipun intensitas interaksinya sebagian besar masih sedang.

Penambahan konsentrasi enzim sebesar 8 U/g menghasilkan nilai viskositas meningkat menjadi 4.999 mPa.s, yang merupakan indikator bahwa nilai viskositasnya yang tinggi. Namun, pada konsentrasi enzim 12 U/g, viskositas menurun hingga 3.399 mPa.s. Penurunan ini mungkin disebabkan oleh pembentukan struktur yang berlebihan, yang pengaruhnya mengurangi kemampuan molekul untuk mempertahankan viskositas tinggi. Menurut Yuliansar *et al.* (2020), viskositas puncak pati bervariasi untuk masing-masing jenis ubi jalar terutama pada pati ubi jalar putih. Hal ini menunjukkan bahwa ada kemungkinan bahwa konsentrasi enzim memiliki batas viskositas maksimum pada konsentrasi 8 U/g, yang merupakan konsentrasi optimal.

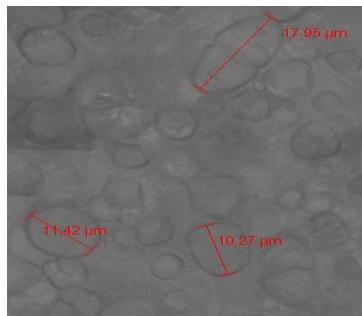


Gambar 4 Viskositas larutan tepung ubi jalar putih modifikasi

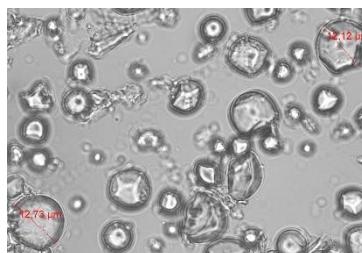
Granula

Ukuran granula tepung ubi jalar control dari hasil menggunakan mikroskop dengan pembesaran 400 kali menunjukkan bahwa bentuk granula tepung ubi jalar putih bulat lonjong dan poligonal (gambar 5) dengan diameter 10.27 μm . Menurut penelitian yang dilakukan oleh Nindyarani *et al.* (2011), didapatkan bahwa bentuk granula pati tepung ubi jalar adalah polygonal dengan ukuran antara 10-25 μm . Hasil Mikroskop dengan pembesaran 400 kali menunjukkan bahwa bentuk granula pati dari tiga perlakuan konsentrasi enzim relatif sama, yakni bulat dan poligonal (gambar 6, 7, 8) dengan diameter rata-rata 12 μm . Berdasarkan penelitian yang dilakukan Yuliansar *et al.* (2020), ukuran granula pati ubi jalar yang dilakukan dengan menggunakan mikroskop fluorescen dengan pembesaran 400 kali menghasilkan diameter rata-rata 10 μm .

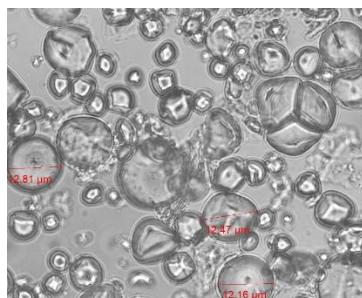
Hasil yang didapatkan tidak berbeda jauh dari literatur, sehingga hasil tersebut hampir sesuai dengan penelitian tersebut. Tepung ubi jalar putih modifikasi *cross-linking* menunjukkan permukaan butiran granula yang padat dan berpori (Ramadhan *et al.* 2023). Perbedaan granula terjadi karena proses modifikasi *cross-linking* pada pati yang memperkuat ikatan hidrogen di dalam granula melalui ikatan kimia yang berfungsi sebagai penghubung antar molekul. Hal ini menyebabkan perubahan sifat pati, termasuk membuat granula menjadi lebih kuat (Maharani *et al.* 2017). Selain itu, modifikasi tepung juga dapat memengaruhi area amorf granula pati, ukuran granula, komposisi kimia, serta sifat fisiknya (Yuliana *et al.* 2014).



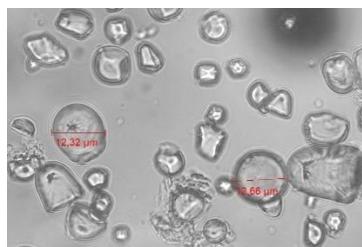
Gambar 5 Bentuk dan ukuran granula tepung ubi jalar putih kontrol



Gambar 6 Bentuk dan ukuran granula tepung ubi jalar putih modifikasi 4 U/g



Gambar 7 Bentuk dan ukuran granula tepung ubi jalar putih modifikasi 8 U/g



Gambar 8 Bentuk dan ukuran granula tepung ubi jalar putih modifikasi 12 U/g

Neraca Massa dan Efektivitas Pengaruh Proses Enzimatik pada Tepung Ubi Jalar Putih

Tabel 3. Hasil Perhitungan Neraca Massa pada Pembuatan Tepung Ubi Jalar Putih Modifikasi

Pencampuran 1

Komponen	Input (mol)	Output (mol)
----------	-------------	--------------

Tepung	0.617	0.617
Air	16.67	16.67
Total	17.287	17.287

Pencampuran 2

Komponen	Input (mol)	Output (mol)
Tepung	0.617	0.617
Air	16.67	16.67
Lisin	0.041	0.041
Glutamin	0.041	0.041
Total	17.369	17.369

Pengeringan

Komponen	Input (mol)	Output (mol)
Tepung	17.369	0.691
Air yang diuapkan	-	16.678
Total	17.369	17.369

Penggilingan

Komponen	Input (mol)	Output (mol)
Tepung	0,691	0,691
Kadar air	0,696	0,696
Total	1,387	1,387

Pengayakan

Komponen	Input (mol)	Output (mol)
Tepung	0,691	0,568
Tidak lolos ayak	-	0,123
Total	0,691	0,691

*Tepung : Ubi Jalar Putih

Hasil yang didapatkan pada proses modifikasi *cross-linking* tepung ubi jalar putih menghasilkan bobot sebesar 92 gram dari total lolos ayakan 80 mesh. Menghasilkan mol produk yang terbentuk yaitu 0.568 mol dengan efisiensi reaksi penggunaan asam amino 12% yaitu 92.05% dengan sisa sekitar 7.95% yang tidak bereaksi atau hilang dalam proses tersebut.

Kondisi reaksi pada suhu 50°C dan waktu 15 menit memberikan lingkungan ideal untuk aktivitas enzim transglutaminase, mencegah terjadinya denaturasi protein atau kerusakan pada enzim. Hal ini mendukung hipotesis bahwa kondisi reaksi memiliki peran penting dalam memaksimalkan efisiensi enzimatik, seperti yang terlihat dari penurunan efisiensi protein pada konsentrasi enzim 12 U/g, yang mungkin disebabkan karena terjadi pembentukan struktur berlebihan yang mengurangi fleksibilitas protein.

Penggunaan tepung ubi jalar putih modifikasi *cross-linking* dengan kadar protein tinggi membuka peluang untuk pengembangan produk pangan tinggi protein, seperti roti, mie, ataupun produk fungsional. Efektivitas tepung ini dalam pembentukan struktur elastis dan viskositas optimal menjadikannya bahan alternatif gluten-free untuk tepung terigu konvensional. Penelitian ini menggunakan metode SNI sebagai acuan dasar analisis untuk memastikan keabsahan dari hasil penelitian ini yang dapat diterapkan pada skala industri.

KESIMPULAN

Perlakuan konsentrasi enzim transglutaminase pada tepung ubi jalar putih modifikasi yang dihasilkan berpengaruh terhadap peningkatan kualitas kimia maupun fisik. Penambahan konsentrasi enzim pada perlakuan yang dilakukan dapat menurunkan kandungan kadar abu dan juga meningkatkan kadar protein yang terkandung dalam tepung ubi jalar modifikasi. Kadar air pada tepung ubi jalar putih modifikasi yang dihasilkan berada dalam kisaran standar SNI 3751:2018. Perlakuan konsentrasi enzim TGase 8 U/g menghasilkan hasil terbaik dari perlakuan konsentrasi enzim TGase lainnya. Kadar protein yang dihasilkan sebesar 7.20%. Peningkatan kadar protein pada tepung ubi jalar modifikasi ini berkaitan erat dengan mekanisme kerja enzim transglutaminase. Viskositas puncak pati bervariasi untuk jenis ubi jalar terutama pada pati tepung ubi jalar putih. Ukuran granula pati ubi jalar putih dari tiga perlakuan yang dilakukan menghasilkan diameter rata-rata 12 μm .

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada departemen Teknologi Industri Pertanian IPB University, khususnya dosen pembimbing dan laboran yang telah mendukung pelaksanaan penelitian, serta reviewer atas saran dan perbaikannya. Peneliti juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang memberikan dukungan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [BSN] Badan Standardisasi Nasional., 2009. SNI 3751:2009. Tepung Terigu Sebagai Bahan Makanan. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional., 2018. SNI 3751:2018. Tepung Terigu Sebagai Bahan Makanan. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Amalia, L., Velita, V., Mardiah, M., Kusumaningrum, J., 2023. Pengaruh penambahan berbagai pengenyal terhadap karakteristik kimia dan sensori bakso MDM (Mechanically Deboned Meat) Ayam. Jurnal Ilmiah Pangan Halal. 5(2), 91-101. <https://doi.org/10.30997/jiph.v5i2.10645>
- Ambarsari, I., Sarjana, S., Choliq, A., 2009. Rekomendasi dalam penetapan standar mutu tepung ubi jalar. Jurnal standardisasi. 11(3), 212-219. <http://dx.doi.org/10.31153/js.v11i3.676>
- Gita, R.S.D., Danuji, S., 2018. Studi pembuatan kue fungsional dengan substitusi tepung ikan gabus dan tepung daun kelor. BIOEDUSAINS: Jurnal Pendidikan Biologi dan Sains 1(2):155–162. <https://doi.org/10.31539/bioedusains.v1i2.323>
- Hafsa, M.J., 2004. Prospek bisnis ubijalar. Pustaka Sinar Harapan, Jakarta.
- Lestari, I., Rosida, D.F., Wicaksono, L.A., 2023. Kajian kualitas fisik edible straw dari pati ubi jalar kuning (*Ipomea batatas* L.). Jurnal Pangan dan Agroindustri. 11(2), 53-60. <https://doi.org/10.21776/ub.jpa.2023.011.02.1>

- Liur, I.J., 2014. Analisa sifat kimia dari tiga jenis tepung ubi jalar (*Ipomea batatas L.*). *Jurnal Agrinimal*. 4(1), 17-21.
- Maharani, Y., Hamzah, F., Rahmayuni., 2017. Pengaruh perlakuan sodium tripolyphosphate (STPP) pada pati sagu termodifikasi terhadap ketebalan, transparansi dan laju perpindahan uap air edible film. *JOM FAPERTA*. 4(2), 1–13.
- Mayashopha, A.Y., Herfianita, F., Sutrisno, A., 2015. Aplikasi enzim transglutaminase pada produk pangan: kajian pustaka. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. 3(3), 1145-1151.
- Nindyarani, A.K., Sutardi, S., Suparmo, S., 2011. Karakteristik kimia, fisik dan inderawi tepung ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas Poiret*) dan produk olahannya. *Agritech*. 31(4), 273-280. <https://doi.org/10.22146/agritech.9634>
- Nuraisyah, A., Raharja, S., Udin, F., 2018. Karakteristik kimia roti tepung beras dengan tambahan enzim transglutaminase. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 28(3), 318-330. doi:10.24961/j.tek.ind.pert.2018.28.3.3 19
- Putri, J.C.S., Haryanti, S., Izzati, M., 2017. Pengaruh lama penyimpanan terhadap perubahan morfologi dan kandungan gizi pada umbi talas bogor (*Colocasia esculenta (L.) Schott*). *Jurnal Akademika Biologi*. 6(1), 49-58.
- Ramadhan, M.R., Raharja, S., Sukardi, S., 2023. Optimasi peningkatan kualitas tepung lindur dengan penambahan konsentrasi asam amino dan enzim transglutaminase. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 17(2), 433-448. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v17i2.14223>
- Saeid, A., Hoque, S., Kumar, U., Das, M., Muhammad, N., Rahman, M., Ahmed, M., 2015. Comparative studies on nutritional quality of commercial wheat flour in Bangladesh. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial*. 50(3), 181–188. doi:10.3329/bjsir.v50i3.25581
- Santosa, I., Winata, A.P., Sulistiawati, E., 2016. Kajian sifat kimia dan uji sensori tepung ubi jalar putih hasil pengeringan cara sangrai. *Chemica*, 3(2), 55-60.
- Setyaningsih, N., 2017. Paket teknologi budidaya ubi jalar (*Ipomoea batatas L.*) varietas cilembu [Skripsi]. Universitas Brawijaya, Malang.
- Suprayitno, E., Sulistiyati, T.D., 2017. Metabolisme protein. Universitas Brawijaya Press, Malang.
- Triyas, S., Afifah, C.A.N., Soeyono, R.D., Astuti, N., 2021. Pemanfaatan tepung pangan lokal pada kue semprit. *Jurnal Tata Boga*. 10(1), 56-66.
- Wukirsari, T., Saepuddin, E., Hanafiah, I.P. 2022. Sifat fisikokimia pati tahan cerna hasil hidrolisis asam dan heat moisture treatment pada pati maizena. *Jurnal Agritechno*. 15(1), 37-43.
- Yuliana, N., Nurdjanah, S., Sugiharto, R., Amethy, D., 2023. Effect of spontaneous lactic acid fermentation on physico-chemical properties of sweet potato flour. *Microbiology Indonesia*. 8(1):18.doi:10.5454/mi.8.1.1.
- Yuliansar, Y., Ridwan, R., Hermawati, H., 2020. Karakterisasi pati ubi jalar putih, orange, dan ungu. *Jurnal Saintis*. 1(2), 1–13.

SURAT PERNYATAAN

Kami menyatakan bahwa kami **bersedia/tidak bersedia** artikel dengan judul Perbaikan Kualitas Tepung Ubi Jalar Putih dengan Ikat Silang Asam Amino oleh Enzim Transglutaminase untuk diterbitkan **pada Jurnal Teknologi dan Inovasi Agroindustri**.

Artikel tersebut merupakan karya tulis ilmiah asli dari Tim Penulis dan belum pernah dan tidak sedang dalam proses untuk diterbitkan di media publikasi manapun.

Artikel tersebut harap diterbitkan dengan urutan penulis sebagai berikut :

1. Nama : Mardino Putra Sutrabalsa
Email : mardinoputra@apps.ipb.ac.id

Nama institusi : IPB University, Bogor, Indonesia

2. Nama: Dr. Ir. Sapta Raharja, D.E.A
Email :

Nama institusi : IPB University, Bogor, Indonesia

Penulis Utama dari artikel adalah **Mardino Putra Sutrabalsa**. Penulis Korespondensi dari artikel ini adalah **Sapta Raharja**. Untuk proses revisi selanjutnya dilakukan oleh **Mardino Putra Sutrabalsa**.

Selama proses telaah artikel, revisi, dan **belum ada keputusan penerbitan**, Tim Penulis tidak akan menerbitkan artikel tersebut dalam jurnal lain.

Bogor, 5 Desember 2024

Atas Nama Tim Penulis,

(Dr. Ir. Sapta Raharja, D.E.A)