



Optimasi peningkatan kualitas tepung lindur dengan penambahan konsentrasi asam amino dan enzim transglutaminase

Muhammad Rahmad Ramadhan*, Sapta Raharja, Sukardi

Pascasarjana Teknik Industri Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

Article history

Diterima:

2 April 2022

Diperbaiki:

28 Mei 2022

Disetujui:

3 Juni 2022

Keyword

Baking expansion;

Cross-linking;

Lindur flour;

Response surface methodology

ABSTRACT

In the wider application of lindur flour, it is necessary to improve the functional properties of flour. Cross-linking between amino acids and transglutaminase enzymes is an effort to improve functional properties to improve the quality of lindur flour. This study aims to optimize the process of modifying the cross-linking of two different factor variables, namely the concentration of amino acids (X_1) and transglutaminase (X_2) enzymes using response surface methodology analysis. The response variables were analyzed to obtain the optimum conditions, namely swelling power, solubility, protein content, and baking expansion. There are two tests in this study, namely initial characteristics testing including proximate analysis, starch content, amylose, amylopectin, swelling power and solubility, baking expansion, whiteness degree, and supporting tests including FTIR and SEM analysis. The optimum conditions obtained were amino acid concentrations of 12 % and the enzyme transglutaminase 8 U/g. The results of the optimum response variables were swelling power of 9.58 g/g, solubility of 23.15 %, protein content of 19.99 %, and baking expansion of 2.27 ml/g. SEM analysis of modified lindur flour showed that the morphological structure of the granules changed in size, shape and physical properties. FTIR analysis showed that there was a change in the O-H group to N-H and the strengthening of the C-N group which was thought to be due to cross-linking.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

* Penulis korespondensi

Email : rahmadramadhan@apps.ipb.ac.id

DOI 10.21107/agrointek.v17i2.14223

PENDAHULUAN

Indonesia mempunyai berbagai sumber daya alam yang potensial khususnya di bidang pertanian maupun industri pangan. Salah satu sumber daya alam yang potensial untuk dijadikan pangan lokal baru yaitu buah lindur. Buah lindur adalah salah satu spesies *mangrove* yang termasuk kedalam tumbuhan *Rhizophoraceae* yang hanya tumbuh di kawasan pesisir pantai dan tumbuh di ketinggian 0-50 mdpl dengan tekstur tanah berlumpur. Selain itu potensi buah lindur juga sangat melimpah di Indonesia khususnya pada daerah-daerah kawasan pesisir pantai salah satunya provinsi Sulawesi Tenggara yang memiliki luas kawasan sekitar 74.348,820 ha (Hartini *et al.* 2010).

Pemanfaatan yang lebih luas buah lindur umumnya dijadikan sebagai produk tepung lindur untuk bahan baku dalam pembuatan adonan. Namun penggunaan dari tepung lindur memiliki kelemahan dalam hal *baking properties*. Adonan yang dihasilkan dari tepung lindur tidak dapat mengembang atau bantat karena disebabkan kandungan protein sangat rendah dan tidak mengandung gluten sehingga mempengaruhi tepung lindur dalam membentuk adonan dan kualitas tepung. Akan tetapi berbeda dengan tepung terigu yang memiliki protein gluten yang mempunyai sifat viskoelastik bila dicampur dengan air dan dapat menahan gas yang terbentuk pada saat fermentasi sehingga volume adonan dapat mengembang (Sarofa *et al.* 2014). Oleh karena itu diperlukannya upaya peningkatan kualitas tepung lindur dalam hal ini sifat fungsional yang lebih baik, terutama sifat viskoelastis dan daya mengembang adonan, maka dilakukan optimasi *cross-linking* antara konsentrasi asam amino dan enzim *transglutaminase* terhadap tepung lindur.

Cross-linking merupakan metode modifikasi yang dapat digunakan untuk menghasilkan tepung lindur dengan sifat fungsional yang lebih baik. Modifikasi ikat silang dengan menggunakan enzim *transglutaminase* dapat mampu mengikat dalam membentuk jaringan protein dan meningkatkan karakteristik adonan (Storck *et al.* 2013). Sedangkan penggunaan asam amino (glutamin dan lisin) mampu memperkuat reaksi ikatan silang yang terjadi dalam protein pangan sehingga dapat meningkatkan sifat fungsional seperti elastisitas (Wen *et al.* 2014). Selain itu disebabkan juga terjadi ikatan sulfida yang

dibentuk oleh enzim *transglutaminase* dalam mengikat silang antara asam amino (glutamin dan lisin) menyebabkan perubahan sifat fisik protein pangan ataupun tekstur produk pangan seperti elastisitas, kekerasan, daya mengembang adonan dan lain-lain (Mayasopha *et al.* 2014).

Mengoptimalkan proses modifikasi *cross-linking* dengan konsentrasi asam amino dan enzim *transglutaminase* dalam peningkatan kualitas tepung lindur maka digunakan metode *Response Surface Methodology*. Penggunaan metode ini berfungsi untuk mengembangkan, meningkatkan, dan mengoptimasi suatu formulasi sehingga sangat penting dalam rancangan, pengembangan dan perumusan produk baru, serta pada peningkatan rancangan produk yang sudah ada (Trihaditia *et al.* 2018). *Central Composite Design* adalah salah satu bagian desain eksperimental dari *Response Surface Methodology*. *Central Composite Design* digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel faktor terhadap variabel respon (Adeleke *et al.* 2018). Pemilihan taraf variabel faktor untuk konsentrasi asam amino mengacu pada penelitian Husna (2018) sedangkan enzim *transglutaminase* mengacu dari penelitian (Nuraisyah *et al.* 2018). Tujuan dari penelitian ini untuk memperoleh kondisi optimum dari proses modifikasi *cross-linking* terhadap tepung lindur sehingga dapat meningkatkan sifat fungsional yang lebih baik.

METODE

Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan terdiri dari buah lindur yang diperoleh dari kawasan pesisir pantai Soropia (Sulawesi Tenggara), enzim *transglutaminase* (*Taixing Dongseng Food Science dan Technology Co., Ltd*; aktivitas enzim 18 U/g) *food grade* dan asam amino (lisin dan glutamin) *food grade* merek *now food* diperoleh dari toko online. Bahan kimia untuk analisis terdiri dari larutan NaOH, asam asetat, heksana, K₂SO₄, H₂SO₄, NaOH-Na₂S₂O₃, HCL, dan H₃BO₃.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tanur, pengukur warna NR60CP, spektrofotometer UV-VIS merek HACH, *oven blower*, termometer, saringan 80 mesh. Sedangkan untuk alat modifikasi menggunakan gelas piala (wadah), satu set agitator tipe *blade* (pengaduk), dan *water bath* (sumber panas).

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental menggunakan *Response Surface Methodology* dengan model adalah *Central Composite Design* yang bertujuan untuk menentukan titik optimum peningkatan kualitas tepung lindur. Rancangan desain rentang dan level variabel bebas dengan variabel faktor berupa konsentrasi asam amino (X_1) dan enzim *transglutaminase* (X_2) Sedangkan variabel respon terdiri dari *swelling power* (Y_1), kelarutan (Y_2), kadar protein (Y_3) dan *baking expansion* (Y_4) yang dilakukan dengan 13 *running*. Adapun analisis data dalam penelitian ini menggunakan software *design expert* 13.0. Penelitian ini terdiri beberapa tahap yaitu pembuatan tepung lindur, pembuatan formulasi modifikasi *cross-linking* tepung lindur, analisis karakteristik fisikokimia dan struktur morfologi tepung lindur.

Pembuatan Tepung lindur

Buah lindur yang digunakan untuk pembuatan tepung adalah buah lindur yang masih segar, tidak busuk dan berwarna hijau. Kemudian dilakukan penyortiran buah untuk mendapatkan kualitas produk yang baik. Selanjutnya dilakukan perebusan buah selama 30 menit agar dapat mempermudah proses pengupasan kulit buah dan pengecilan ukuran buah sehingga kandungan air lebih cepat menguap ketika dilakukan pengeringan. Kemudian buah lindur direndam dalam larutan natrium metabisulfat yang diizinkan oleh BPOM dengan konsentrasi 0,5% selama 12 jam bertujuan untuk mencerahkan warna tepung. Setelah perendaman dilakukan pengeringan menggunakan *oven* dengan suhu 60°C selama 24 jam sampai kering. Setelah buah kering, dilakukan pengilingan dan pengayakan dengan ukuran 80 mesh sehingga menghasilkan tepung lindur (Hidayat *et al.* 2014).

Pembuatan Formulasi Modifikasi *Cross-Linking* Tepung Lindur

Pembuatan formulasi yaitu tepung lindur dilakukan modifikasi *cross-linking* dengan konsentrasi asam amino lisin dan glutamin 9%, 12% dan 15% dengan perbandingan (1:1) dan enzim *transglutaminase* 4 U/g, 8 U/g dan 12 U/g ditambahkan air sebanyak 3 kali berat tepung lindur. Kemudian dilakukan pengadukan menggunakan agitator tipe *blade* dengan kecepatan 90 rpm pada suhu 45°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 lindur modifikasi *cross-linking* (Nuraisyah 2018).

Analisis Karakteristik Fisikokimia dan Morfologi Tepung Lindur

Analisis karakteristik fisikokimia meliputi analisis proksimat (AOAC 2005), kadar pati dengan metode *Luff Schroll* (AOAC 1995), amilosa (IRRI 1978), amilopektin (*by difference*), *swelling power* dan kelarutan (Raina *et al.* 2006), *baking expansion* (Demiate *et al.* 2000), derajat putih, analisis FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) dan analisis SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Fisikokimia Tepung Lindur

Karakteristik fisikokimia tepung lindur dengan perendaman natrium metabisulfat pada Tabel 1 menunjukkan untuk karakteristik kimia tepung lindur kontrol seperti kadar air sebesar 8,82% lebih rendah dari penelitian sebelumnya sehingga tepung lindur yang dihasilkan tidak rentan terhadap kerusakan kimiawi maupun mikrobiologi selama penyimpanan (Gita *et al.* 2018). Kadar abu menunjukkan terjadinya peningkatan sebesar 2,15% disebabkan dari beberapa faktor seperti kondisi tanah, iklim, kematangan dan varietas bahan (Saeid *et al.* 2015). Kadar lemak sebesar 1,40% menunjukkan bahwa dengan perendaman natrium metabisulfat pada bahan pangan dapat terjadi pemecahan lemak menjadi asam lemak menyebabkan semakin banyak asam lemak yang menguap ke udara selama proses pengeringan sehingga kadar lemak menurun (Lastari *et al.* 2016). Kadar protein sebesar 2,97% lebih rendah disebabkan pada proses pengolahan menggunakan pemanasan yang cukup tinggi dan perendaman dalam air sehingga terjadinya penurunan terhadap protein. Hal ini sesuai dengan penelitian Lastari *et al.* (2016) menyatakan bahwa kadar protein terjadi penurunan disebabkan karena difusi substansi nitrogen akan mudah larut ke dalam air perendaman bahan.

Sedangkan untuk amilosa sebesar 9,47% dan amilopektin sebesar 37,38%. Hasil yang diperoleh serupa dengan penelitian Bunga *et al.* (2017) pada tepung lindur halmahera dan komersil yang menunjukkan bahwa kandungan amilosa yang

lebih rendah daripada amilopektin. Menurut Pramesti *et al.* (2015) kandungan amilopektin tinggi daripada amilosa umumnya dimanfaatkan dalam pembuatan tepung roti ataupun pengental saus dikarenakan viskositas, stabilitas dan kekuatan mengental yang tinggi.

Karakteristik fisik tepung lindur dilakukan untuk mengetahui kualitas fisik tepung yang dihasilkan tanpa adanya modifikasi *cross-linking* meliputi analisis *swelling power* 4,61 (g/g), kelarutan 13,61% dan *baking expansion* 1,37 ml/g. Hasil dari Tabel 1 menunjukkan bahwa karakteristik fisik tepung lindur kontrol perlu ditingkatkan dengan dilakukan modifikasi *cross-linking* terhadap tepung sehingga dapat sama ataupun lebih baik dari kualitas fisik tepung terigu seperti *swelling power* dan *baking expansion* yang masing-masing sebesar 6,12 g/g dan 2,31 ml/g (Raharja *et al.* 2018).

Berdasarkan hasil penelitian pada Tabel 2 menunjukkan bahwa dengan dilakukan perendaman natrium metabisulfat terhadap buah lindur dapat mempengaruhi hasil kecerahan warna tepung lindur dengan memberikan nilai *lightness* (L^*) 88,62; *redness* (a^*) 1,35; dan *yellowness* (b^*) 19,35 dengan memperoleh nilai °Hue 77,51 lebih tinggi daripada penelitian Hidayat *et al.* (2014) dengan nilai °Hue 76,37 dan Sulistyawati *et al.* (2012) dengan nilai °Hue 47,09 sedangkan untuk

indikator warna yang dihasilkan yaitu putih kekuningan berbeda jauh dengan warna yang diperoleh dari penelitian sebelumnya seperti yang terlihat pada Tabel 2. Warna tepung yang dihasilkan tidak cerah disebabkan pada proses pengolahan bahan baku yang tidak dilakukan proses perendaman sehingga terjadinya reaksi enzimatik dan penggunaan suhu tinggi pada proses pengeringan. Menurut Sunyoto *et al.* (2016) proses pengeringan bahan basah dengan suhu tinggi dapat menurunkan kecerahan produk yang cenderung akan lebih gelap.

Karakteristik Tepung Lindur Modifikasi *Cross-Linking*

Karakteristik tepung lindur modifikasi meliputi *swelling power* (Y_1), kelarutan (Y_2), kadar protein (Y_3) dan *baking expansion* (Y_4) sebagai variabel respon dalam menentukan optimasi dari variabel faktor berupa konsentrasi asam amino (X_1) dan enzim *transglutaminase* (X_2) pada peningkatan kualitas tepung lindur modifikasi *cross-linking*. Dalam analisis ANOVA diketahui bahwa faktor paling signifikan yang mempengaruhi tepung lindur modifikasi adalah konsentrasi asam amino untuk semua variabel respon. Sedangkan untuk konsentrasi enzim *transglutaminase* hanya berpengaruh secara signifikan pada variabel respon dari kadar protein.

Tabel 1 Karakteristik fisikokimia tepung lindur

Komponen Nutrisi	Kandungan/100g			
	Tepung Lindur	(Ilminingtyas <i>et al.</i> 2020)	(Fadilah <i>et al.</i> , 2020)	SNI 3549-2009
Kadar Air (%)	8,82±0,19	11,49	10,30	13,00
Abu (%)	2,15±0,16	1,58	1,30	1,00
Lemak (%)	1,40±0,04	3,57	1,41	-
Protein (%)	2,97±0,17	2,02	4,10	-
Serat (%)	7,76±0,14	7,47	-	-
Karbohidrat (%)	84,67±0,41	81,10	82,87	-
Amilosa (%)	9,47±0,01	17,33	18,35	-
Amilopektin (%)	37,38±0,08	-	-	-
<i>Swelling Power</i> (g/g)	4,61±0,15	-	-	-
Kelarutan (%)	13,16±0,27	-	-	-
<i>Baking Expansion</i> (ml/g)	1,37±0,02	-	-	-

Tabel 2 Hasil analisis derajat putih tepung lindur

Sampel	L^*	a^*	b^*	°Hue	Indikator Warna
Tepung Lindur Kontrol	88,62	1,35	19,35	77,51	Putih Kekuningan
(Hidayat <i>et al.</i> , 2014)	97,83	1,83	7,55	76,37	Kuning
(Sulistyawati <i>et al.</i> , 2012)	54,70	16,30	17,55	47,09	Kuning Merah

Swelling Power

Model polinomial yang direkomendasikan adalah model kuadrat. Nilai R^2 dari variabel respon *swelling power* sebesar 0,9544 yang mempunyai makna bahwa pengaruh variabel X_1 dan X_2 terhadap perubahan variabel respon adalah 95,44 % sedangkan sisanya 4,56 % dipengaruhi oleh variabel-variabel bebas lain yang tidak diketahui. Grafik 3D menunjukkan bahwa meningkatnya konsentrasi asam amino dan enzim *transglutaminase* berbanding lurus terhadap nilai *swelling power*. Penambahan konsentrasi asam amino dan enzim *transglutaminase* dapat meningkatkan nilai *swelling power* akan tetapi pada konsentrasi yang lebih tinggi akan menyebabkan terjadinya penurunan terhadap nilai *swelling power*. Disebabkan karena semakin kuat hasil ikat silang protein pada tepung lindur jumlah air yang dapat masuk saat proses *swelling power* menjadi lebih sedikit sehingga terjadinya penurunan nilai *swelling power* (Gambar 1a). Persamaan model polinomial dari respon *swelling power* (Y_1) = $9,23 + 0,73 X_1 + 0,23 X_2 + 0,35 X_1 X_2 - 1,31 X_1^2 - 1,21 X_2^2$

Swelling power akan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi asam amino (X_1), peningkatan konsentrasi enzim *transglutaminase* (X_2), serta interaksi konsentrasi asam amino dengan konsentrasi enzim *transglutaminase* ($X_1 X_2$). Sedangkan *swelling power* akan menurun seiring dengan interaksi kuadrat konsentrasi asam amino (X_1^2) dan interaksi kuadrat konsentrasi enzim *transglutaminase* (X_2^2).

Hasil analisis *swelling power* tepung lindur modifikasi *cross-linking* berkisar antara 5,48 – 9,58 (g/g) dengan rata-rata yang diperoleh 7,68 (g/g). *Swelling power* yang dihasilkan dari modifikasi *cross-linking* menggunakan konsentrasi asam amino 12 % dan enzim *transglutaminase* 8 U/g sebesar 9,58 g/g memiliki nilai lebih tinggi daripada *swelling power* tepung lindur kontrol 4,61 g/g dan tepung terigu 6,12 g/g. Adapun penyebab meningkatnya *swelling power* tepung lindur yaitu rasio kadar amilosa dan amilopektin yang mempengaruhi komponen tepung. Kadar amilosa yang tinggi dapat menghambat daya pembengkakan sedangkan kadar amilopektin tinggi dapat meningkatkan proses daya pembengkakan sehingga produk yang dihasilkan akan bersifat berpori dan renyah. Sebaliknya ketika kadar amilopektin lebih rendah dari kadar amilosa maka pati akan menjadi kering, tidak mudah terikat, dan cenderung banyak

menyerap air (higroskopis) (Syafutri 2015). Terjadinya peristiwa ikatan silang (*cross-linking*) akan memperkuat ikatan hidrogen antara molekul pati sehingga sifat pati alami (amilosa dan amilopektin) akan berubah yang menghasilkan peningkatan nilai *swelling power* dan kelarutan (Lubis *et al.* 2019).

Kelarutan

Model polinomial yang direkomendasikan adalah model kuadrat. Nilai R^2 dari variabel respon kelarutan sebesar 0,9774 yang mempunyai makna bahwa pengaruh variabel X_1 dan X_2 terhadap perubahan variabel respon adalah 97,74 % sedangkan sisanya 2,26 % dipengaruhi oleh variabel-variabel bebas lain yang tidak diketahui. Grafik 3D menunjukkan bahwa meningkatnya konsentrasi asam amino dan enzim *transglutaminase* berbanding lurus terhadap nilai kelarutan. Penambahan konsentrasi asam amino dan enzim *transglutaminase* dapat meningkatkan nilai kelarutan akan tetapi pada konsentrasi yang lebih tinggi akan menyebabkan terjadinya penurunan terhadap nilai kelarutan. Meningkatnya nilai kelarutan karena asam amino yang digunakan bersifat larut dalam air sedangkan menurunnya nilai kelarutan karena tidak terjadinya proses ikat silang dengan baik terhadap tepung lindur sehingga berkurangnya jumlah protein yang tidak terikat (Gambar 1b). Persamaan model polinomial dari variabel respon kelarutan (Y_2) = $22,56 + 1,05 X_1 + 0,27 X_2 + 1,92 X_1 X_2 - 2,58 X_1^2 - 2,16 X_2^2$.

Kelarutan akan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi asam amino (X_1), peningkatan konsentrasi enzim *transglutaminase* (X_2), serta interaksi konsentrasi asam amino dengan konsentrasi enzim *transglutaminase* ($X_1 X_2$). Sedangkan kelarutan akan menurun seiring dengan interaksi kuadrat konsentrasi asam amino (X_1^2) dan interaksi kuadrat konsentrasi enzim *transglutaminase* (X_2^2).

Kelarutan sebagai kemampuan suatu bahan agar mudah larut dalam air sehingga tidak membentuk endapan (Dewi *et al.* 2014). Hasil variabel respon dari analisis kelarutan tepung lindur modifikasi *cross-linking* sebesar 14,6 – 23,15% dengan nilai rata-rata 19,65%. Kelarutan yang dihasilkan dari modifikasi *cross-linking* menggunakan konsentrasi asam amino 12% dan enzim *transglutaminase* 8 U/g sebesar 23,15% memiliki nilai lebih tinggi daripada kelarutan tepung lindur kontrol 13,16% dan tepung terigu 10,46%. Karena semakin tinggi penambahan

konsentrasi asam amino dalam modifikasi tepung lindur maka nilai kelarutan akan semakin tinggi. Asam amino yang digunakan yaitu glutamin memiliki sifat larut dalam air sehingga meningkatkan nilai kelarutan terhadap tepung lindur modifikasi. Selain itu nilai kelarutan yang tinggi dikarenakan semakin rendahnya panjang polimer rantai pati dari tepung modifikasi menyebabkan molekul pati menjadi lebih kecil dan mudah untuk larut dalam air (Dewi *et al.* 2014).

Kadar Protein

Model polinomial yang direkomendasikan adalah model kuadrat. Nilai R^2 dari variabel respon kadar protein sebesar 0,7733 yang mempunyai makna bahwa pengaruh variabel X_1 dan X_2 terhadap perubahan variabel respon adalah 94,19% sedangkan sisanya 5,81% dipengaruhi oleh variabel-variabel bebas lain yang tidak diketahui. Grafik 3D menunjukkan bahwa penambahan enzim *transglutaminase* dapat meningkatkan nilai kadar protein akan tetapi pada konsentrasi yang lebih tinggi akan menyebabkan terjadinya penurunan terhadap nilai kadar protein sedangkan penambahan konsentrasi asam amino cenderung dapat meningkatkan nilai kadar protein. Terjadinya penurunan kadar protein yang disebabkan oleh enzim *transglutaminase* karena adanya reaksi proses polimerisasi dan interaksi silang antara molekul protein (Marcoa *et al.* 2008) sedangkan peningkatan kadar protein dengan bertambahnya konsentrasi asam amino tepung lindur disebabkan asam amino yang digunakan protein murni (Gambar 1c). Persamaan model polinomial dari variabel respon kadar protein (Y_3) = $19,42 + 1,10 X_1 + 1,10 X_2 + 0,28 X_1X_2 - 0,27 X_1^2 - 2,63 X_2^2$

Kadar protein akan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi asam amino (X_1), peningkatan konsentrasi enzim *transglutaminase* (X_2), serta interaksi konsentrasi asam amino dengan konsentrasi enzim *transglutaminase* (X_1X_2). Sedangkan kadar protein akan menurun seiring dengan interaksi kuadrat konsentrasi asam amino (X_1^2) dan interaksi kuadrat konsentrasi enzim *transglutaminase* (X_2^2).

Kadar protein sangat mempengaruhi kualitas pada suatu produk olahan khususnya dalam pengembangan volume produk. Semakin rendah kadar protein maka semakin rendah pengembangan volume produk yang akan dihasilkan (Nuraisyah *et al.* 2018). Hasil variabel

respon dari kadar protein tepung lindur modifikasi *cross-linking* sebesar 12,42 – 20,73% dengan nilai rata-rata dihasilkan 17,64%. Kadar protein yang dihasilkan dari modifikasi *cross-linking* menggunakan konsentrasi asam amino 12% dan enzim *transglutaminase* 8 U/g sebesar 19,99% memiliki nilai lebih tinggi daripada tepung lindur kontrol 2,97% dan tepung terigu 10,44%.

Baking Expansion

Model polinomial yang direkomendasikan adalah model kuadrat. Nilai R^2 dari variabel respon *baking expansion* sebesar 0,9730 yang mempunyai makna bahwa pengaruh variabel X_1 dan X_2 terhadap perubahan variabel respon adalah 97,30% sedangkan sisanya 2,70% dipengaruhi oleh variabel-variabel bebas lain yang tidak diketahui. Grafik 3D menunjukkan bahwa penambahan enzim *transglutaminase* dapat meningkatkan nilai *baking expansion* akan tetapi pada konsentrasi yang lebih tinggi akan menyebabkan terjadinya penurunan terhadap nilai *baking expansion* sedangkan penambahan konsentrasi asam amino cenderung meningkatkan nilai *baking expansion*. Konsentrasi asam amino yang tinggi semakin banyak substrat yang tersedia untuk proses ikat silang menyebabkan semakin banyak jaring protein terbentuk. Sedangkan enzim *transglutaminase* yang lebih tinggi menghasilkan banyak katalis sehingga menyebabkan reaksi ikat silang tidak maksimal (Gambar 1d). Persamaan model polinomial dari variabel respon *baking expansion* (Y_5) = $2,19 + 0,25 X_1 + 0,04 X_2 + 0,01 X_1X_2 - 0,04 X_1^2 - 0,32 X_2^2$

Baking expansion akan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi asam amino (X_1), peningkatan konsentrasi enzim *transglutaminase* (X_2), serta interaksi konsentrasi asam amino dengan konsentrasi enzim *transglutaminase* (X_1X_2). Sedangkan *baking expansion* akan menurun seiring dengan interaksi kuadrat konsentrasi asam amino (X_1^2) dan interaksi kuadrat konsentrasi enzim *transglutaminase* (X_2^2).

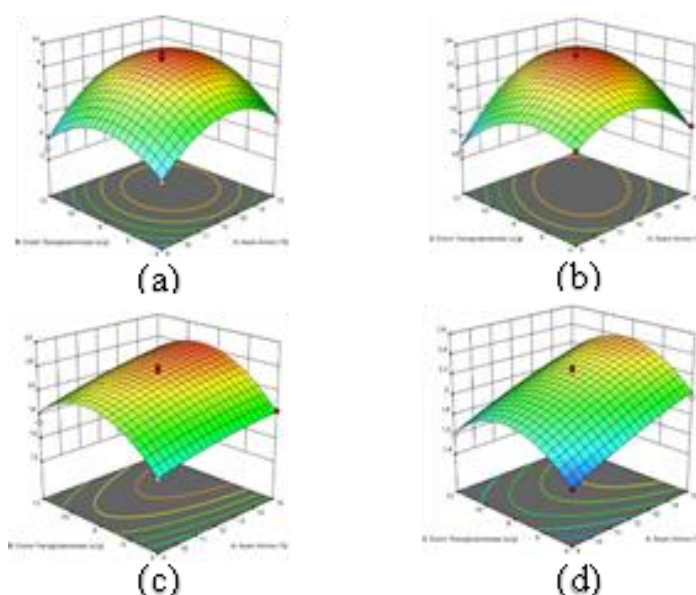
Baking expansion memiliki peran penting dalam mengetahui peningkatan kualitas suatu produk. Analisis *baking expansion* digunakan sebagai indikator dalam menunjukkan kemampuan produk pangan dalam mengembang jika dilakukan proses pemanggangan. Hasil analisis *baking expansion* dari tepung lindur modifikasi *cross-linking* sebesar 1,5 – 2,54 (ml/g) dengan nilai rata-rata diperoleh 1,97 ml/g. *Baking expansion* yang dihasilkan dari modifikasi *cross-*

linking menggunakan konsentrasi asam amino 12 % dan enzim *transglutaminase* 8 U/g sebesar 2,27 ml/g memiliki nilai lebih tinggi daripada *baking expansion* tepung lindur kontrol 1,37 ml/g dan lebih rendah dari tepung terigu 2,29 ml/g. Terjadinya peningkatan nilai *baking expansion* atau derajat pengembangan produk dipengaruhi oleh kadar protein suatu bahan pangan (Helmi *et al.* 2015). Selain itu juga disebabkan terbentuknya jaring-jaring protein selama proses modifikasi *cross-linking* antara enzim *transglutaminase* dengan asam amino sehingga membentuk jaringan yang mampu menahan gas CO₂ pada saat proses

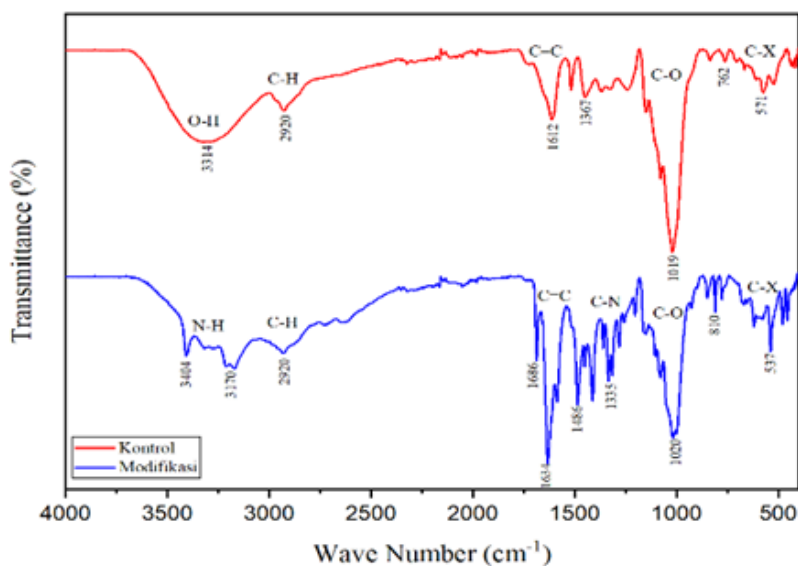
pemanggangan berlangsung (Gujral and Rosell 2004).

Analisis FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

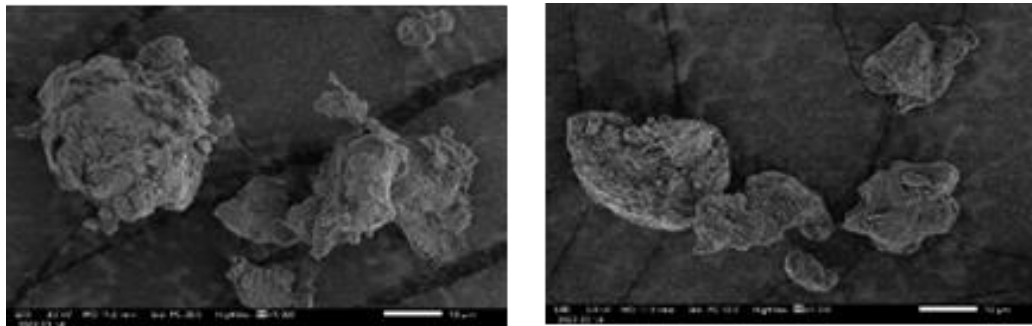
Analisis FTIR merupakan pengujian yang digunakan untuk mengetahui perubahan dan pembentukan gugus fungsi baru yang terjadi pada tepung setelah proses modifikasi (Kang *et al.* 2016). Sampel yang digunakan untuk analisis FTIR yaitu tepung lindur kontrol dan modifikasi *cross-linking* optimum dengan konsentrasi asam amino 12% dan enzim *transglutaminase* 8 U/g (Gambar 2).



Gambar 1 Grafik 3D permukaan tepung lindur modifikasi antara konsentrasi asam amino dan enzim *transglutaminase* (a) *swelling power*, (b) kelarutan, (c) kadar protein dan (d) *baking expansion*



Gambar 2 Hasil analisis FTIR



Gambar 3 Struktur morfologi tepung lindur kontrol (a) dan modifikasi (b)

Hasil spektrum analisis FTIR dari tepung lindur kontrol dan modifikasi *cross-linking* optimum memiliki perbedaan spektrum IR yang sangat signifikan. Terlihat dari gugus fungsi terjadinya pergeseran puncak, tinggi rendahnya intensitas puncak dan lebar sempitnya bilangan gelombang yang diindikasikan karena penambahan konsentrasi asam amino dan enzim *transglutaminase*. Hasil spektrum FTIR menunjukkan bahwa tepung lindur modifikasi mengalami perubahan bilangan gelombang yang ditandai dengan terbentuk ikatan baru. Terlihat dari spektrum IR bahwa tepung lindur modifikasi optimum mengalami perubahan dari gugus O-H menjadi gugus N-H. Terbentuknya gugus N-H menunjukkan terjadinya peningkatan kandungan protein yang disebabkan oleh adanya deformasi ikatan pada protein tepung (Amir *et al.* 2013).

Gugus N-H pada tepung lindur modifikasi optimum yang terbentuk membuktikan bahwa telah terjadinya ikat silang antara konsentrasi asam amino dan enzim *transglutaminase* terhadap tepung lindur modifikasi optimum. Diperjelas juga dari terlihat penajaman ataupun pergeseran bilangan gelombang pada gugus fungsi C-H, C=C, C-O dan C-X yang mengalami penguatan gugus fungsi. Gugus O-H panjang gelombang 3400-3200 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan hidrogen, N-H panjang gelombang 3500-3100 cm^{-1} menunjukkan gugus amina dan amida, C-H panjang gelombang 2920 cm^{-1} menunjukkan gugus karbohidrat, C=C panjang gelombang 1600-1475 cm^{-1} menunjukkan gugus aromatik, C-O panjang gelombang 1300-1000 cm^{-1} menunjukkan gugus alkohol, eter, ester, asam karboksilat dan anhidrida serta C-X panjang gelombang <667 cm^{-1} menunjukkan bromida dan iodida (Pavia *et al.* 2015). Selain itu pada penelitian Raharja *et al.* (2018) menyatakan bahwa penguatan puncak spektrum inframerah ditandai dengan penurunan transmittan atau penajaman lembah yang menunjukkan penguatan

pada ikatan gugus fungsi yang mengindikasikan bahwa telah berikatannya beberapa gugus fungsi dalam suatu bahan.

Analisis SEM (Scanning Electron Microscope)

Analisis SEM dari tepung lindur terlihat bentuk granula dari tepung lindur dengan perbesaran 10 μm menunjukkan hasil bentuk granula berbentuk bulat tidak teratur. Adapun morfologi tepung kontrol dan modifikasi disajikan pada Gambar 3.

Struktur morfologi granula yang dihasilkan dengan perbesaran 10 μm terlihat perbedaan pada bentuk granula dari tepung lindur kontrol menunjukkan bentuk granula yang lebih besar dan permukaan yang terkupas serta kasar. Demikian juga dengan tepung lindur modifikasi *cross-linking* optimum dengan konsentrasi asam amino 12% dan enzim *transglutaminase* 8U/g pada perbesaran 10 μm menunjukkan bentuk granula yang lebih kecil dan permukaan yang halus, berpori serta padat. Terjadinya perbedaan granula tersebut diakibatkan dari proses modifikasi *cross-linking* pada pati akan menguatkan ikatan hidrogen dalam granula dengan ikatan kimia yang berperan sebagai jembatan diantara molekul sehingga adanya perubahan pada sifat pati seperti membuat granula pati lebih kuat (Maharani *et al.* 2017). Proses modifikasi pada tepung juga mampu mengubah daerah amorf granula pati, ukuran granula, komponen kimia dan mengubah sifat fisik (Yuliansa *et al.* 2014)

KESIMPULAN

Peningkatan kualitas tepung lindur dengan modifikasi *cross-linking* dapat menggunakan kondisi optimum dalam meningkatkan kualitas tepung lindur. Kondisi optimum yang diperoleh adalah konsentrasi asam amino 12% dan enzim *transglutaminase* 8U/g. Adapun hasil optimasi dari variabel respon meliputi *swelling power* 9,58g/g, kelarutan 23,15%, kadar protein 19,99%,

dan *baking expansion* 2,27ml/g tidak berbeda jauh dengan respon prediksi sehingga dapat digunakan sebagai solusi optimasi dalam peningkatan kualitas tepung lindur. Hasil analisis FTIR menunjukkan adanya perubahan ikatan hidrogen dari tepung lindur kontrol menjadi gugus amina dan mengalami penguatan gugus fungsi terhadap tepung lindur modifikasi. Analisis SEM dari tepung lindur modifikasi terlihat struktur morfologi granula mengalami perubahan ukuran, bentuk dan sifat fisik. Dengan adanya modifikasi *cross-linking* menggunakan konsentrasi asam amino dan enzim *transglutaminase* secara signifikan berpengaruh terhadap peningkatan karakteristik fisikokimia tepung lindur. Hasil variabel respon dari penelitian ini menunjukkan bahwa tidak berbeda jauh dengan hasil pengujian tepung terigu sehingga tepung lindur modifikasi *cross-linking* dapat digunakan untuk produk olahan pangan yang membutuhkan sifat fungsional seperti elastisitas, kekerasan, dan daya mengembang adonan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adeleke, O. A., A. A. A. Latiff, M. R. Saphira, Z. Daud, N. Ismail, A. Ahsan, N. A. A. Aziz, M. Ndah, V. Kumar, A. G. Adel, M. A. Rosli, and M. Hijab. 2018. *Locally Derived Activated Carbon From Domestic, Agricultural and Industrial Wastes for the Treatment of Palm Oil Mill Effluent*. Page *Nanotechnology in Water and Wastewater Treatment: Theory and Applications*. Elsevier Inc.
- Amir, R. M., F. M. Anjum, M. I. Khan, M. R. Khan, I. Pasha, and M. Nadeem. 2013. Application of Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy for The Identification of Wheat Varieties. *Journal of Food Science and Technology* 50(5):1018–1023.
- Bunga, S. M., A. M. Jacob, and T. Nurhayati. 2017. Karakteristik Pati Dari Buah Lindur dan Aplikasinya Sebagai Edible Film. *Jphpi* 20(3):446–455.
- Demiate, I. M., N. Dupuy, J. P. Huvenne, M. P. Cereda, and G. Wosiacki. 2000. Relationship Between Baking Behavior of Modified Cassava Starches and Starch Chemical Structure Determined by FTIR Spectroscopy. *Carbohydrate Polymers* 42(2):149–158.
- Dewi, N. S., N. H. R. Parnanto, and A. R. Ariyantoro. 2014. Karakteristik Sifat Fisikokimia Tepung Bengkuang (Pachyrhizus Erosus) Dimodifikasi Secara Asetilasi Dengan Variasi Konsentrasi Asam Asetat Selama Perendaman. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian* 7(2):104–112.
- Gita, R. S. D., and S. Danuji. 2018. Studi Pembuatan Biskuit Fungsional dengan Substitusi Tepung Ikan Gabus dan Tepung Daun Kelor. *BIOEDUSAINS: Jurnal Pendidikan Biologi dan Sains* 1(2):155–162.
- Gujral, H. S., and C. M. Rosell. 2004. Functionality of Rice Flour Modified With A Microbial Transglutaminase. *Journal of Cereal Science* 39(2):225–230.
- Hartini, S., G. B. Saputro, M. Yulianto, and Suprajaka. 2010. Assessing The Used of Remotely Sensed Data for Mapping Mangroves Indonesia. *International Conference on Electric Power Systems, High voltages, Electric machines, International conference on Remote sensing - Proceedings*:210–215.
- Helmi, S. R., Ridwansyah, and H. Rusmarilin. 2015. Karakteristik Kimia dan Fungsional Tepung Komposit Dari Jenis Tepung Kasava Termodifikasi Pada Berbagai Metoda Pengeringan dan Tepung Terigu. *Rekayasa Pangan dan Pertanian* 3(4):489–495.
- Hidayat, T., P. Suptijah, and Nurjanah. 2014. Karakterisasi Tepung Buah Lindur (Brugueira Gymnorhiza) Sebagai Beras Analog Dengan Penambahan Sagu dan Kitosan. *JPHPI* 16(3):268–277.
- Ilminingtyas, D., D. Kartikawati, and B. Hermanu. 2020. Diversifikasi Sumber Pangan Lokal : Evaluasi Nilai Gizi dan Nilai Kalori Tepung. *SEMINAR NASIONAL KONSORSIUM UNTAG Indonesia* 2(1):138–149.
- Kang, N., Y. J. Zuo, L. Hilliou, M. Ashokkumar, and Y. Hemar. 2016. Viscosity and Hydrodynamic Radius Relationship of High-Power Ultrasound Depolymerised Starch Pastes With Different Amylose Content. *Food Hydrocolloids* 52:183–191.
- Lastari, A. N., R. B. K. Anandito, and S. Siswanti. 2016. Pengaruh Konsentrasi Natrium Metabisulfit (Na₂S₂O₅) dan Lama Perendaman Terhadap Karakteristik Tepung Kecambah Kedelai. *Jurnal Teknosains Pangan* V(2).
- Lubis, N. Y., N. Fauziah, R. R. Ilahi, and A. Rustamsyah. 2019. Peningkatan Nilai Ekonomi Modifikasi Pati Umbi Taka (Tacca leontopetaloides (L.) Kuntze) Sebagai Bahan

- Baku Pembuatan Biskuit Herbal. *Jurnal Sains dan Teknologi Pangan* 4(5):2511–2517.
- Maharani, Y., F. Hamzah, and 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.
- Marcoa, C., and C. M. Rosell. 2008. Effect of Different Protein Isolates and Transglutaminase on Rice Flour Properties. *Journal of Food Engineering* 84(1):132–139.
- Mayasopha, A. Y., F. Herfianita, and A. Sutrisno. 2014. Aplikasi Enzim Transglutaminase Pada Produk Pangan: Kajian Pustaka. *Jurnal Pangan dan Agroindustri* 3(3):1145–1151.
- Nuraisyah, A., S. Raharja, and F. Udin. 2018. Karakteristik Kimia Roti Tepung Beras Dengan Tambahan Enzim Transglutaminase. *jurnal Teknologi Industri Pertanian* 28(3):318–330.
- Pavia, D. L., G. M. Lampman, G. S. Kriz, and J. R. Vyvyan. 2015. *Introduction to Soft X-Ray Spectroscopy*. Page *American Journal of Physics*. Washington.
- Pramesti, H. A., K. Siadi, and E. Cahyono. 2015. Analisis Rasio Kadar Amilosa/Amilopektin dalam Amilum dari Beberapa Jenis Umbi. *IJCS - Indonesia Journal of Chemical Science* 4(1):27–30.
- Raharja, S., O. Suparno, F. Udin, F. P. Listyaningrum, and A. Nuraisyah. 2018. The Optimization of Rice Flour Cross-Linking With Gluten To Improve the Dough Quality of Rice Flour 7(4):50–53.
- Raina, C. S., S. Singh, A. S. Bawa, and D. C. Saxena. 2006. Some Characteristics of Acetylated, Cross-Linked and Dual Modified Indian Rice Starches. *European Food Research and Technology* 223(4):561–570.
- Sarofa, U., S. Djajati, and S. N. Cholifah. 2014. Pembuatan Roti Manis (Kajian Substitusi Tepung Terigu dan Kulit Manggis dengan Penambahan Gluten). *J. Rekapangan* 8(2):171–178.
- Storck, C. R., da R. E. Zavareze, M. A. Gularte, M. C. Elias, C. M. Rosell, and A. R. G. Dias. 2013. Protein Enrichment and Its Effects on Gluten-Free Bread Characteristics. *LWT - Food Science and Technology* 53(1):346–354.
- Sulistyawati, Wigyanto, and S. Kumalaningsih. 2012. Produksi Tepung Buah Lindur (*Bruguiera gymnorrhiza* Lamk) Rendah Tanin dan HCN Sebagai Bahan Pangan Alternatif. *Jurnal Teknologi Pertanian* 13(3):187–198.
- Sunyoto, M., R. Andoyo, H. Radiani, and Michelle. 2016. Kajian Sifat Fungsional Pati Ubi Jalar Melalui Perlakuan Modifikasi Heat Moisture Treatment sebagai Sediaan Pangan Darurat. *Sains dan Teknologi* 5(2):846–854.
- Syafutri, M. I. 2015. Sifat Fungsional dan Sifat Pasta Pati Sagu Bangka. *Sagu* 14(1):1–5.
- Trihaditia, R., M. Syamsiah, and A. Awaliyah. 2018. Penentuan Formulasi Optimum Pembuatan Penambahan Tepung Terigu Menggunakan Metode RSM (Response Surface Method). *Agroscience* 8(2):212–230.
- Wen, C., L. Lu, and X. Li. 2014. Mechanically Robust Gelatin-Alginate IPN Hydrogels by A Combination of Enzymatic and Ionic Crosslinking Approaches. *Macromolecular Materials and Engineering* 299(4):504–513.
- Yuliana, N., S. Nurdjanah, R. Sugiharto, and D. Amethy. 2014. Effect of Spontaneous Lactic Acid Fermentation on Physico-Chemical Properties of Sweet Potato Flour. *Microbiology Indonesia* 8(1):1–8.