

Modifikasi Pati Beras Menggunakan Teknologi *Cold Plasma Dielectric Barrier Discharge (DBD)*

Rice Starch Modification Using Cold Plasma Dielectric Barrier Discharge (DBD) Technology

Mutimatul Munawaroh¹, Riyanti Ekafitri², Titik Budiati^{3*}

¹Teknologi Rekayasa Pangan, Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember

² Pusat Riset Teknologi Tepat Guna (PRTTG) – Badan Riset Inovasi Nasional

*Email Koresponden: titik_budiati@polije.ac.id

Received : 22 April 2025 | Accepted : 8 Juli 2025 | Published : 21 Juli 2025

Kata Kunci

cold plasma, dielectric barrier discharge, pati beras

Copyright (c) 2025
Authors Mutimatul
Munawaroh, Riyanti
Ekafitri, Titik Budiati



This work is licensed
under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

ABSTRAK

Pati beras *native* memiliki keterbatasan penggunaan dalam industri pangan karena tidak stabil terhadap perubahan suhu, kondisi asam, tidak larut dan mudah mengalami retrogradasi. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan sifat fungsional pati beras melalui modifikasi fisik menggunakan *Dielectric Barrier Discharge (DBD)* – *cold plasma* dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh beberapa variasi tegangan (8 kV, 10 kV, 12 kV dan 14 kV) terhadap karakteristik pati beras. Hasil menunjukkan kadar air pati beras *native* dan termodifikasi berkisar antara 5,93-8,18%, kadar amilosa meningkat dari 22,36% menjadi 23,95-25,70%, *water absorption index* meningkat dari 1,20 g/g menjadi 1,25-1,77 g/g, *oil absorption index* meningkat dari 3,58 g/g menjadi 3,88-4,09 g/g, *solubility* meningkat dari 30,192 g/g menjadi 30,708-26,683 g/g dan *swelling power* cenderung menurun dari 14,783 g/g menjadi 12,506-12,704 g/g. Semua nilai tersebut dihitung dalam basis kering (%b/k). Pati beras termodifikasi juga menunjukkan peningkatan *peak viscosity*, *breakdown* dan *final viscosity* serta penurunan *setback* dan *pasting temperature*. Pembentukan gugus C=O pada *peak* 1736 cm⁻¹ semakin intensif pada tegangan yang lebih tinggi. Modifikasi menggunakan tegangan 12 kV memberikan peningkatan paling signifikan pada sifat fungsional pati beras.

Keywords

cold plasma, dielectric barrier discharge, rice Starch

ABSTRACT

Native rice starch has limitations in the food industry due to its instability against temperature changes, acidic conditions, low solubility and is prone to retrogradation. This study aims to enhance the functional properties of rice starch through

physical modification using Dielectric Barrier Discharge (DBD) – cold plasma examining the effects of various voltage levels (8 kV, 10 kV, 12 kV, and 14 kV) on rice starch characteristics. The results showed that the moisture content of native and modified rice starch ranged from 5.93–8.18%, the amylose content increased from 22.36% to 23.95–25.70%, the water absorption index increased from 1.20 g/g to 1.25–1.77 g/g, the oil absorption index increased from 3.58 g/g to 3.88–4.09 g/g, solubility increased from 30.192 g/g to 30.708–26.683 g/g, and swelling power tended to decrease from 14.783 g/g to 12.506–12.704 g/g. All values were calculated on a dry basis (%b/k). Modified rice starch also showed increased peak viscosity, breakdown, and final viscosity, as well as a decrease in setback and pasting temperature. The formation of C=O groups at 1736 cm⁻¹ intensified with higher voltage treatments. Modification at 12 kV yielded the most significant improvement in the functional properties of rice starch.

1. PENDAHULUAN

Pati merupakan karbohidrat penyimpan energi utama dalam tanaman yang tersusun oleh polimer amilosa dan amilopektin. Sifat fungsional dari karbohidrat ini menjadikannya banyak diaplikasikan dalam berbagai industri seperti, makanan, farmasi, pembuatan kertas dan lain-lain (Goiana & Fernandes, 2023). Pati dalam industri pangan digunakan sebagai bahan pengental dan penstabil, pengubah tekstur, pengganti lemak serta berbagai aplikasi lainnya (Chen *et al.*, 2020). Penggunaan pati *native* ini memiliki keterbatasan dalam industri pangan karena tidak stabil dalam perubahan suhu, kondisi asam, sangat tidak reaktif, tidak larut dan mudah mengalami retrogradasi sehingga perlu dilakukan modifikasi untuk meningkatkan karakteristik fungsionalitasnya (Sun *et al.*, 2022).

Terdapat beberapa jenis metode untuk memodifikasi pati salah satunya adalah metode fisik menggunakan teknologi *cold plasma*. Plasma terdiri dari komponen gas terionisasi penuh atau sebagian yang meliputi, elektron, ion, radikal bebas, foton, radiasi UV, spesies reaktif serta molekul dalam keadaan tereksitasi dan membawa muatan netral (Pankaj *et al.*, 2018). Salah satu teknologi untuk menghasilkan *cold plasma* adalah *dielectric barrier discharge* (DBD) (Okyere *et al.*, 2022). Reaktor ini menggunakan dua elektroda yaitu, elektroda tegangan tinggi (konduktif) dan elektroda dielektrik dimana sampel diletakkan di atas salah elektroda tersebut sehingga menghasilkan plasma non-termal (Feizollahi *et al.*, 2021). Metode ini memiliki keunggulan yaitu, efisien, ramah lingkungan, biaya perawatan yang rendah dan beroperasi di suhu ruang (Nasiru *et al.*, 2021). Beberapa penelitian telah melakukan pengaplikasian teknologi *cold plasma* pada pati *quinoa* (Ge *et al.*, 2022), *aria* (Carvalho *et al.*, 2021), *talas* (Gupta *et al.*, 2023), kacang hijau (Shen *et al.*, 2021) dan lain sebagainya yang melaporkan bahwasannya modifikasi menggunakan metode ini dapat meningkatkan kadar amilosa, viskositas pasta, serta indeks kelarutan air dan minyak. Penelitian modifikasi pati beras menggunakan teknologi *cold plasma dielectric barrier discharge* (DBD) dengan berbagai jenis voltase belum dipelajari sehingga membuka peluang penelitian lebih lanjut.

Dengan demikian penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efek pemberian *cold plasma* yang dihasilkan dari reaktor *dielectric barrier discharge* (DBD) dengan berbagai variasi tegangan terhadap struktur karakteristik fisikokimia dan fungsional pati beras. Penelitian ini diharapkan menghasilkan pati beras termodifikasi dengan sifat fungsional seperti

kemampuan menyerap minyak dan air, kelarutan serta stabilitas termal lebih baik sehingga metode ini dapat dimanfaatkan untuk mengembangkan produk pangan yang lebih stabil dan memperluas aplikasi pati beras dalam industri makanan sekaligus mendukung produksi pangan berbasis bahan baku lokal yang ramah lingkungan dan efisien.

2. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *cabinet dryer*, blender, Oven Memmert (UM200), *dielectric barrier discharge* (DBD), *Refrigerated Centrifuge* SL40R, RVA Tecmaster Pertern, FTIR Alpha II-Bruker, *Shaking Waterbath* WNB 29, dan UV-VIS Spectrophotometer UV 1900. Sedangkan, bahan yang digunakan meliputi: beras merk Raja Platinum, NaOH, amilosa murni, akuades, minyak, ethanol 95%, CH₃COOH 1N dan Iod 0,2%.

2.2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan modifikasi pati menggunakan *dielectric barrier discharge* (DBD) dengan 5 perlakuan. Masing-masing perlakuan terdiri dari 2 ulangan, Kelompok perlakuan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rancangan perlakuan

Perlakuan	Keterangan
CP0	Pati beras tanpa pemberian <i>cold plasma</i>
CP1	Pati beras dengan pemberian <i>cold plasma</i> pada tegangan 8 kV
CP2	Pati beras dengan pemberian <i>cold plasma</i> pada tegangan 10 kV
CP3	Pati beras dengan pemberian <i>cold plasma</i> pada tegangan 12 kV
CP4	Pati beras dengan pemberian <i>cold plasma</i> pada tegangan 14 kV

2.3. Tahapan Penelitian

2.3.1 Isolasi Pati Beras

Proses isolasi pati beras dilakukan mengikuti metode Moura *et al.*, (2020) dengan sedikit modifikasi. Tahapan awal dimulai dari persiapan bahan yang akan digunakan yaitu, beras, NaOH 0,5% dan akuades, kemudian beras ditimbang sebanyak 100 gram dan dicuci menggunakan air mengalir. Beras kemudian direndam ke dalam NaOH dengan perbandingan 1:2 selama 3 jam pada suhu ruang. Setelah itu, buang larutan NaOH dan cuci beras dengan air mengalir hingga pH netral. Beras dihaluskan menggunakan blender dengan akuades dan disaring menggunakan ayakan 100 mesh lalu, disimpan selama 24 jam pada suhu 7°C. Supernatan dan lapisan berwarna kekuningan dibuang, kemudian tambahkan akuades 300 ml lalu, aduk hingga homogen. Ulangi proses tersebut hingga pH netral. Pati yang telah dimurnikan kemudian dikeringkan di dalam *cabinet dryer* pada suhu 45°C selama 24 jam, Setelah itu, pati dihaluskan menggunakan blender lalu, disimpan dalam wadah tertutup dan diberi silika gel untuk menjaga kelembabannya.

2.3.2 Modifikasi Pati Beras Menggunakan Dielectric Barrier Discharge (DBD)

Modifikasi pati dilakukan menggunakan metode Carvalho *et al.*, (2021) dengan sedikit modifikasi. Sebelum modifikasi pati dilakukan, pati beras dikondisikan kadar airnya menjadi 15% terlebih dahulu dengan menyemprotkan akuades pada pati (Anugrahati & Yudianto, 2022). Adapun perhitungan jumlah akuades yang ditambahkan menggunakan prinsip kesetimbangan massa dengan rumus:

$$(100\% - KAI) \times BP1 = (100\% - KA2) \times BP2$$

Dimana :

- KAI = kadar air kondisi awal (% bb);
BP1 = kadar air pati yang diinginkan (% bb);
KA2 = bobot pati pada kondisi awal;
BP2 = bobot pati setelah mencapai KA2.

Setelah itu, pati diletakkan di atas keramik khusus dan diatur ketebalannya menjadi 3 mm. Keramik tersebut kemudian diletakkan di antara penghalangan *dielectric* dengan jarak antar elektroda sebesar 10 mm. Pati diberikan perlakuan plasma pada suhu ruang (25°C) dengan tegangan yang berbeda (sesuai perlakuan), frekuensi 200 Hz, tekanan rata-rata 101 Kpa dan waktu pemrosesan 20 menit,

2.3.3 Analisa Sampel

2.3.3.1 Kadar Air

Pengukuran kadar air dilakukan menggunakan metode gravimetri (AOAC, 2005). Kadar air didapatkan dengan menggunakan rumus:

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

Dimana a = bobot awal sampel dan b = bobot akhir sampel.

2.3.3.2 Kadar Amilosa

Penetapan kadar amilosa menggunakan metode spektrofotometri mengikuti Fitriani *et al.*, (2023). Hubungan antara nilai penyerapan cahaya dengan konsentrasi amilosa ditunjukkan melalui standarisasi amilosa untuk mendapatkan kurva standar. Amilosa murni sebanyak 40 mg dimasukkan ke dalam tabung reaksi untuk membuat kurva standar amilosa. Kemudian, tambahkan 1 ml etanol 95% dan 9 ml NaOH 1 N. Sampel lalu dipanaskan pada suhu 100°C selama 10 menit kemudian didinginkan pada suhu ruang. Sampel dipindahkan ke dalam labu ukur 100 ml dan ditambahkan akuades hingga tanda tera, lalu dikocok agar homogen. Larutan tersebut diambil dengan pipet masing masing sebanyak 1; 2; 3; 4; dan 5 ml lalu dimasukkan ke dalam labu ukur 100 ml dan diasamkan dengan 1 ml asam asetat (CH₃COOH) 1 N dan 2 ml Iod 0,2% lalu diencerkan dengan akuades sampai tanda tera. Larutan dihomogenkan dengan cara menggoyangkan menggunakan tangan dan dibiarkan selama 20 menit, kemudian diukur serapannya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 625 nm.

Pati beras sebanyak 100 mg ditempatkan dalam labu ukur 100 ml, kemudian ditambahkan dengan 1 ml etanol 95% dan 9 ml NaOH 1 N. Panaskan campuran dalam penangas air suhu 100°C selama 10 menit dan dinginkan pada suhu ruang. Sampel kemudian dipindahkan ke dalam labu takar 100 ml. Tepatkan volume menjadi 100 ml dengan menambahkan akuades hingga tanda tera. Larutan dihomogenisasi dengan cara dikocok. Pipet sebanyak 5 ml larutan sampel dan dimasukkan ke dalam labu takar 100 ml,

tambahkan 1 ml asam asetat (CH_3COOH) 1 N dan 2 ml larutan Iod 0,2% (berangsur-angsur) kemudian diencerkan sampai volume 100 ml. sampel dikocok dan didiamkan 20 menit, lalu diukur serapannya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 625 nm. Kadar amilosa dihitung dengan rumus:

$$\text{Kadar amilosa (\%)} = (A_{625} \times FK \times 100) / (100 - K.a) \times 20$$

Keterangan:

A_{625} = Absorbansi sampel pada Panjang gelombang 625

FK = faktor konversi

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{\text{absorbansi 1 ppm}} \times \frac{1.000 \times 20}{1.000.000} \\ &= \frac{1}{\text{absorbansi 1 ppm} \times 50} \end{aligned}$$

2.3.3.3 Swelling Power dan Solubility

Analisa *swelling power* dan *solubility* mengikuti Fitriani *et al.*, (2023) dengan sedikit modifikasi. Sebanyak 0,1 g pati beras dimasukkan ke dalam tabung *centrifuge* yang telah diketahui beratnya dan ditambahkan 10 ml akuades. Kemudian divortex selama 1 menit agar homogen. Suspensi dipanaskan dalam *waterbath* dengan suhu 95°C selama 30 menit. Setelah itu, didinginkan pada suhu kamar selama 10 menit lalu, disentrifugasi dengan kecepatan 2500 rpm selama 30 menit. Supernatan dituang ke dalam cawan aluminium yang telah diketahui beratnya dan dipanaskan dalam oven dengan suhu 105°C selama 5 jam. Cawan aluminium ditimbang untuk menentukan kelarutan pati. Sedangkan, berat gel ditimbang untuk menentukan *swelling power*. *Swelling power* dan *solubility* pati dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Swelling power (g/g)} = \frac{\text{berat tabung} + \text{sampel (g)}}{\text{berat sampel (g)}}$$

$$\text{Solubility (\%)} = \frac{\text{berat kering supernatan (g)}}{\text{berat sampel (g)}} \times 100$$

2.3.3.4 Water Absorption Index (WAI) dan Oil Absorption Index (OAI)

Analisa *Water* dan *oil absorption index* pati beras dilakukan dengan memodifikasi metode dari Widyahapsari *et al.*, (2021). Sebanyak 0,1 gram pati beras dimasukkan ke dalam tabung *centrifuge* dan ditambahkan akuades 10 ml untuk mengukur kapasitas penyerapan air dan minyak 10 ml untuk mengukur kapasitas penyerapan minyak. Suspensi pati kemudian divortex selama 2 menit lalu disentrifugasi selama 25 menit dengan kecepatan 3000 rpm. Supernatan dipisahkan dan tabung berisi sampel ditimbang. Kapasitas penyerapan air dinyatakan dalam air/gram pati sedangkan, kapasitas penyerapan minyak dalam minyak/gram.

2.3.3.5 Profil Gelatinisasi Pati

Profil gelatinisasi pati beras dianalisis dengan menggunakan RVA Tecmaster Pertern mengikuti (Thirumdas *et al.*, 2017). Analisis dilakukan dengan cara menimbang pati beras yang telah diketahui kadar airnya sebanyak ± 3 g kemudian diletakkan dalam wadah sampel (*canister*) dan dilarutkan dengan 25 mL akuades. Campuran kemudian

dihomogenkan menggunakan *paddle* sampai tidak ada yang menggumpal setelah itu diletakkan pada alat RVA. Selanjutnya dilakukan analisis pada fase pemanasan dengan kecepatan putaran diatur pada 160 rpm dan suhu awal 47°C dinaikkan menjadi 50°C, lalu dipertahankan selama 1 menit. Selanjutnya suhu dinaikkan menjadi 95°C dengan kecepatan 5°C/menit dan dipertahankan selama 5 menit. Sampel kemudian didinginkan dengan menurunkan suhu mencapai 50°C dengan kecepatan 5°C/menit dan dipertahankan selama 1 menit. Pembacaan pada alat akan menghasilkan kurva yang menunjukkan profil perubahan viskositas pasta pati pada fase pemanasan dan fase pendinginan beberapa parameter yang diperoleh, yaitu *peak viscosity*, *breakdown viscosity*, *setback viscosity*, *final viscosity* dan *peak temperature* yang dinyatakan dalam cP.

2.3.3.5 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Analisa ini dilakukan dengan cara meletakkan sampel pati di atas KBr alat FTIR (ALPHA II-Bucker) dan diidentifikasi gugus fungsinya pada panjang gelombang 4000 hingga 500 cm^{-1} .

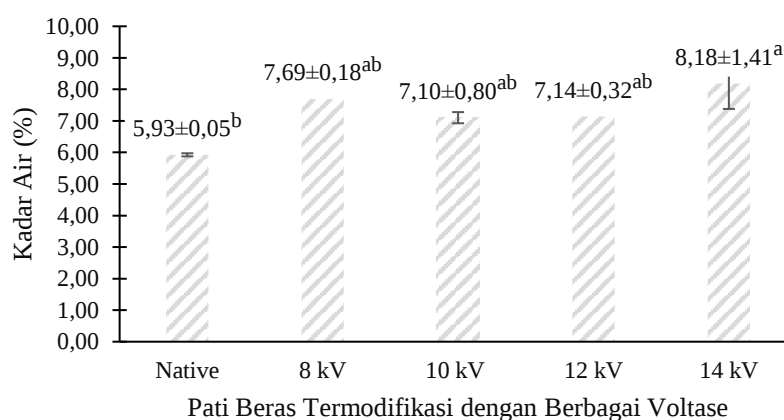
2.4 Analisa Data

Analisis data hasil pengujian dilakukan menggunakan *software Microsoft Excel 2019* dan *IBM SPSS Statistic 27* metode *Analysis of Variance (ANOVA)* dengan tingkat kepercayaan 95%.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kadar Air

Hasil pengujian kadar air pati beras yang telah dimodifikasi menggunakan *Dielectric Barrier Discharge (DBD)* dapat dilihat pada Gambar 1.



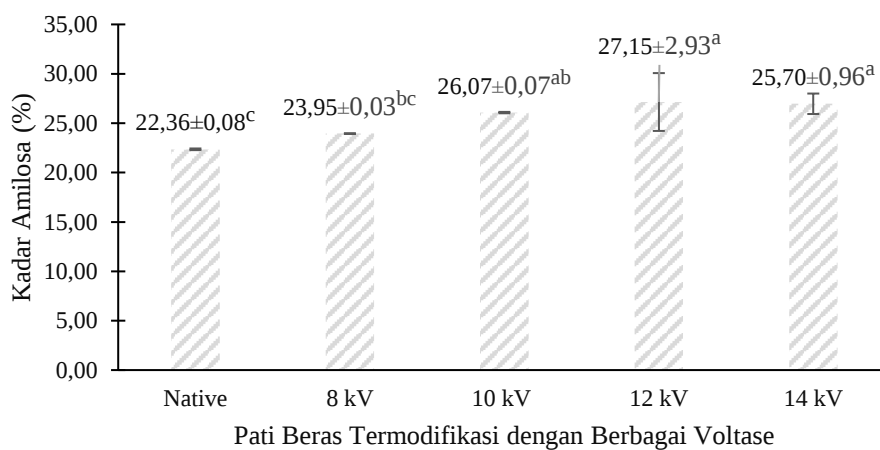
Gambar 1. Kadar air pati beras

Berdasarkan Gambar 1. pemberian perlakuan *cold plasma* menyebabkan kadar air pati beras meningkat secara tidak signifikan ($p < 0,05$) dengan nilai yang berkisar di antara 5,92% hingga 8,18%. Hasil ini tidak sesuai dengan Chaiwat *et al.*, (2016) dan Srangsomjit *et al.*, (2022) yang melaporkan bahwasannya modifikasi menggunakan *cold plasma* menurunkan kadar air pati. Penurunan kadar air kemungkinan disebabkan oleh terjadinya oksidasi selama proses modifikasi dimana melalui proses tersebut terjadi tumbukan antara spesies reaktif plasma

dengan pati sehingga merusak ikatan hidrogen pati dan air yang menyebabkan air menguap (Srangsomjit et al., 2022). Hasil penelitian ini justru terdapat peningkatan kadar air pada pati termodifikasi dari kadar air awal yaitu, 5,92%. Meskipun demikian pengkondisian kadar air menjadi 15% sebelum modifikasi dilakukan, dengan hasil akhir kadar air tertinggi adalah 8,18% maka dapat dikatakan bahwa dalam pemberian perlakuan *cold plasma* tetap menyebabkan penurunan kadar air pati beras. Adapun penurunan yang tidak signifikan kemungkinan disebabkan oleh proses pengkondisian kadar air menjadi 15% yang kurang homogen.

3.2 Kadar Amilosa

Amilosa merupakan salah satu polimer penyusun sekitar 20-30% molekul pati (Obadi et al., 2023). Hasil pengujian kadar amilosa pati beras menggunakan metode spektrofotometri ditunjukkan oleh Gambar 2.

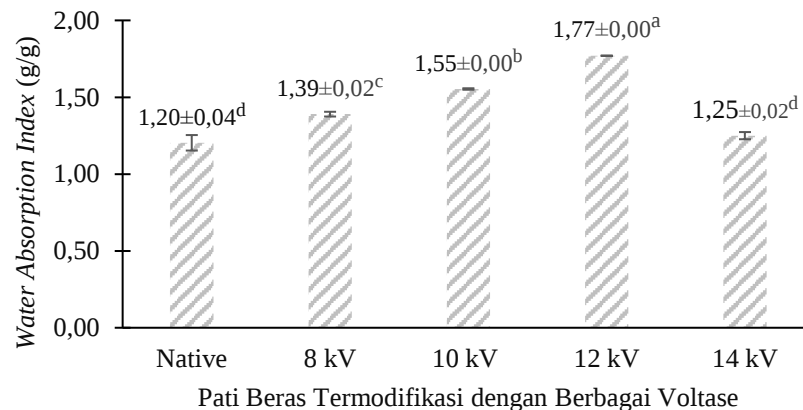


Gambar 2. Kadar amilosa pati beras

Berdasarkan Gambar 2. kadar amilosa pati beras meningkat secara signifikan ($p < 0,05$) dengan pemberian *cold plasma* hingga tegangan 12 kV. Kemudian menurun pada tegangan 14 kV. Hasil ini selaras dengan penelitian (Sun et al., 2022) yang melaporkan bahwa pemberian perlakuan *cold plasma* meningkatkan kadar amilosa pada pati beras. Peningkatan kadar amilosa disebabkan oleh polimerisasi rantai amilosa yang mengubah struktur heliks amilosa dan meningkatkan jumlah heliks ganda jarak pendek yang teratur (Lan et al., 2008). Selain itu interaksi plasma dengan butiran pati menyebabkan terjadinya depolimerisasi amilosa dan amilopektin sehingga polimer bercabang seperti amilopektin akan kehilangan cabangnya dan diubah menjadi amilosa dengan jumlah karbon rendah. Radikal bebas yang dihasilkan dalam plasma bereaksi dengan amilosa dan menciptakan radikal internal yang berpolimerisasi menghasilkan amilopektin (Marenco-Orozco et al., 2022), sehingga mengakibatkan penurunan kadar amilosa saat tegangan dinaikkan. Menurut Polnaya et al., (2018) rasio amilosa dan struktur kristalinnya berpengaruh terhadap *water absorption index* dan *swelling power*. Semakin tinggi kandungan amilosa, maka daya serap air akan meningkat dan *swelling power* menurun yang akan berpengaruh terhadap profil gelatinisasi pati apabila dipanaskan.

3.3. Water Absorption Index (WAI)

Water Absorption Index (WAI) merupakan kapasitas penyerapan air yang dimiliki oleh butiran atau polimer pati setelah mengembang (Yousf *et al.*, 2017). Rata-rata nilai *Water Absorption Index* (WAI) pati beras berkisar antara 1,200 g/g hingga 1,770 g/g dengan nilai tertinggi terdapat pada sampel pati beras dengan perlakuan 12 kV sedangkan, nilai terendah dimiliki oleh sampel pati beras *native* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3. Menurut Thirumdas *et al.*, (2017), pati beras *native* memiliki WAI yang lebih tinggi yaitu, 2,38 g/g, dibandingkan dengan WAI pati beras *native* pada penelitian ini yang hanya sebesar 1,20 g/g.



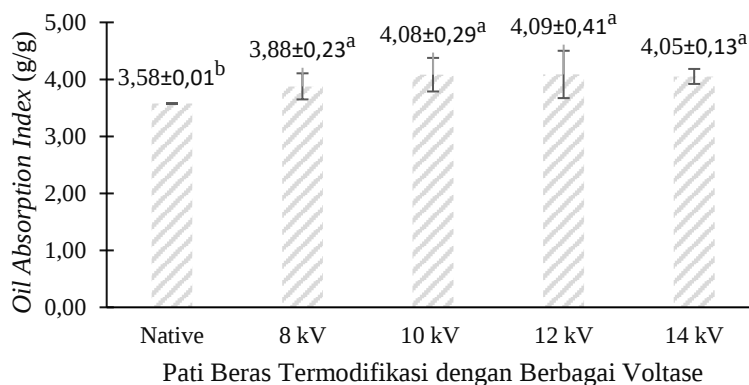
Gambar 3. *Water absorption index* (WAI) pati beras

Berdasarkan Gambar 3. nilai WAI pati beras meningkat secara signifikan ($p < 0,05$) seiring dengan meningkatnya tegangan hingga 12 kV. Ketika tegangan dinaikkan menjadi 14 kV, nilai WAI mengalami penurunan. Meskipun demikian nilainya masih lebih tinggi dibandingkan pati *native*. Hasil ini selaras dengan penelitian Goiana & Fernandes, (2023) yang melaporkan bahwa pemberian perlakuan plasma meningkatkan nilai WAI pati jagung. Menurut Banura *et al.*, (2018), meningkatnya nilai WAI dapat disebabkan oleh proses depolimerisasi amilosa dengan amilopektin selama modifikasi berlangsung dimana proses tersebut menghasilkan gula sederhana yang mampu menyerap air di permukaan pati sehingga berkontribusi pada peningkatan WAI. Selain itu, *plasma etching* kemungkinan juga berperan dalam peningkatan nilai WAI pati beras. Selama perlakuan plasma, struktur partikel pati akan dirubah yang mengarah pada pembentukan mikrokanal sehingga memudahkan air untuk masuk ke dalam butiran pati dan meningkatkan nilai WAI (Thirumdas *et al.*, 2017). Ketika tegangan ditingkatkan menjadi 14 kV, terjadi penurunan nilai WAI yang kemungkinan disebabkan oleh *cross linking* dan membentuk ikatan baru dalam molekul pati (Thirumdas *et al.*, 2017). Daya serap air sangat berpengaruh terhadap proses gelatinisasi selama pemanasan. Kapasitasnya dapat menentukan jumlah air yang tersedia untuk pati dalam proses tersebut. Apabila jumlah air tidak mencukupi akan mengakibatkan pembentukan gel tidak mencapai kondisi optimum dan menurunkan *peak viscosity*, sehingga nilai *water absorption index* yang tinggi akan menghasilkan *peak viscosity* yang lebih tinggi pula (Khikmah *et al.*, 2021).

3.4 Oil Absorption Index (OAI)

Oil Absorption Index (OAI) atau daya serap minyak merupakan salah satu parameter yang penting dalam menentukan sifat fungsional pati (Diniyah *et al.*, 2019). Nilai rata-rata OAI pati beras sebelum dan sesudah dimodifikasi berkisar antara 3,58 g/g hingga 4,09 g/g seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4. Berdasarkan penelitian Thirumdas *et al.*, (2017), nilai OAI pati

beras *native* sebesar 2,43 g/g. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian ini dengan nilai OAI pati beras *native* sebesar 3,58 g/g.



Gambar 4. Oil absorption index (OAI) pati beras

Berdasarkan Gambar 4. daya serap minyak pati beras cenderung meningkat setelah dimodifikasi menggunakan *cold plasma* seiring dengan peningkatan tegangan yang diberikan. Akan tetapi, ketika tegangan dinaikkan menjadi 14 kV, terjadi penurunan nilai OAI meskipun masih lebih besar dibandingkan pati *native*. Hal ini selaras dengan penelitian Thirumdas *et al.*, (2017) yang melaporkan bahwa daya serap minyak pati beras meningkat dari 2,43 g/g/ menjadi 2,55 g/g/ setelah pemberian *cold plasma* pada tegangan 40 W selama 10 menit. Peningkatan nilai OAI ini terjadi karena disintegrasi granula pati yang disebabkan oleh tumbukan elektron berenergi lebih tinggi pada permukaan pati sehingga luas permukaan pati semakin besar (Sonkar *et al.*, 2023). Adapun penurunan nilai OAI saat tegangan dinaikkan menjadi 14 kV kemungkinan disebabkan oleh faktor yang sama penyebab peningkatan nilai WAI dimana pati mengalami *cross linking* dan menyebabkan pembentukan struktur baru sehingga mengurangi tingkat daya serap minyak pada pati beras. Daya serap minyak dapat diindikasikan kapasitas pengemulsi suatu bahan pangan. Kemampuan pati dalam menyerap minyak dapat menunjukkan adanya komponen penyusun yang bersifat lipofilik pada komponen penyusunnya (Falade *et al.*, 2014). Daya serap minyak pada pati yang tinggi cocok untuk produk yang melalui proses penggorengan. Sebagian minyak akan diserap oleh bahan pangan selama proses penggorengan yang memiliki karakteristik tertentu. Minyak yang terserap akan membantu membentuk lapisan kerak, mempertahankan kelembaban bahan, serta memperkaya rasa pada produk pangan (Dewi *et al.*, 2022).

3.5 Swelling Power dan Solubility

Hasil pengujian *swelling power* dan *solubility* pati beras sebelum dan sesudah dimodifikasi ditunjukkan oleh Tabel 1. Menurut Sun *et al.*, (2022), nilai *swelling power* dan *solubility* pati beras *native* masing-masing adalah 17,62 g/g dan 24,80 g/g. Sedangkan pada penelitian ini pati beras *native* memiliki nilai *swelling power* lebih rendah dan *solubility* lebih tinggi dengan masing-masing nilai yaitu, 14,783 g/g dan 30,192 g/g.

Tabel 1. Swelling power dan solubility pati beras		
Perlakuan	Swelling Power (g/g)	Solubility (%)
Native	14,783 ± 0,70 ^a	30,192 ± 1,48 ^b

8 kV	12,704 ± 0,70 ^b	36,142 ± 1,24 ^a
10 kV	12,622 ± 0,69 ^b	36,445 ± 1,77 ^a
12 kV	12,564 ± 0,58 ^b	36,683 ± 1,77 ^a
14 kV	12,506 ± 0,42 ^b	30,708 ± 0,84 ^b

Keterangan: angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata ($p > 0,05$).

Berdasarkan Tabel 1. rata-rata nilai *swelling power* pati beras berkisar antara 14,783 g/g hingga 12,564 g/g. *Swelling power* pati beras setelah pemberian perlakuan plasma cenderung menurun seiring dengan meningkatnya tegangan yang diberikan. Hal ini selaras dengan dengan penelitian Sun *et al.*, (2022) yang melaporkan bahwa nilai *swelling power* dan *solubility* meningkat setelah diberikan perlakuan *cold plasma*. Meskipun mengalami penurunan, nilainya masih lebih besar dibandingkan pati *native*. Hal ini dapat disebabkan oleh meningkatnya kandungan amilosa pada pati. Menurut Thirumdas *et al.*, (2017) pati dengan kandungan amilosa yang lebih tinggi memiliki *swelling power* yang lebih rendah dibandingkan pati dengan kandungan amilosa yang lebih rendah. Sarangapani *et al.*, (2016) melaporkan hal yang sama bahwa pemberian perlakuan *cold plasma* menurunkan *swelling power* pada tepung beras. Sementara nilai *solubility* pati beras meningkat seiring dengan peningkatan tegangan hingga 12 kV. Menurut Bie *et al.*, (2016), degradasi molekular dan oksidasi pati oleh spesies plasma aktif (RNOS) menyebabkan meningkatnya kelarutan pati. Ketika tegangan dinaikkan menjadi 14 kV, nilai *solubility* menurun. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh menurunnya kandungan amilosa dimana amilosa berperan dalam pembentukan gel sehingga *solubility* pati menurun (Thirumdas *et al.*, 2017). Adanya peningkatan *solubility* atau kelarutan ini menguntungkan dalam aplikasi dalam pangan karena kelarutan pati yang tinggi lebih diinginkan. Pati yang lebih mudah larut akan lebih cepat berinteraksi dengan air, membentuk gel yang lebih stabil sehingga akan meningkatkan viskositas (Gupta *et al.*, 2023)

3.6 Profil Gelatinisasi Pati

Perubahan dalam distribusi panjang rantai cabang pati saat diberikan *cold plasma* dapat memengaruhi sifat fungsional pati, seperti viskositas, perilaku gelatinisasi dan stabilitas termalnya (Liang *et al.*, 2024). Hasil penelitian menunjukkan perubahan pada profil gelatinisasi pati beras sebelum dan sesudah diberi perlakuan *cold plasma* seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 2. Menurut Thirumdas *et al.*, (2017), pati beras *native* memiliki *peak viscosity* 3113 cP, *breakdown* 1753 cP, *final viscosity* 4610 cP, *setback viscosity* 3250 cP, dan *pasting temperature* 78,02°C. Sedangkan pada penelitian ini, pati beras *native* memiliki nilai *peak viscosity*, *breakdown*, *pasting temperature* yang lebih tinggi serta nilai *final* dan *setback viscosity* yang lebih rendah seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2. Profil gelatinisasi pati beras

Perlakuan	Peak Viscosity (cP)	Breakdown (cP)	Final Viscosity (cP)	Setback (cP)	Pasting Temperature (°C)
Native	4780,0±74,95 ^c	2851,0±185,26 ^{ab}	3173,5±218,50 ^b	1244,5±41,72 ^{ab}	84,45±0,07 ^a

8 kV	5011,5±122,33 ^b	2871,0±163,34 ^{ab}	3202,5±94,05 ^b	1062,0±53,03 ^{bc}	84,05±0,07 ^a
10 kV	5390,5±7,78 ^{ab}	3318,5±113,14 ^a	3371,0±10,01 ^{ab}	1299,0±110,31 ^a	84,05±0,49 ^a
12 kV	5641,5±130,81 ^a	3091,5±301,23 ^{ab}	3512,5±104,65 ^a	962,5±275,06 ^c	83,58±0,49 ^a
14 kV	4930,5±266,58 ^{bc}	2690,0±143,54 ^b	3195,5±18,38 ^b	955,0±104,65 ^c	83,60±0,49 ^a

Keterangan: angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata ($p>0,05$).

Tabel 2. menunjukkan bahwa *peak viscosity* (PV) atau disebut juga viskositas puncak pati beras setelah dimodifikasi dengan *cold plasma* meningkat secara signifikan ($p<0,05$) seiring dengan peningkatan tegangan yang diberikan dari 4780,0 cP menjadi 5641,5 cP namun, saat tegangan dinaikkan menjadi 14 kV, nilai PV menurun menjadi 4930,5 cP. Meskipun terjadi penurunan namun, nilainya masih lebih tinggi dibandingkan pati beras *native*. Menurut Lee *et al.*, (2015), peningkatan nilai PV setelah diberi perlakuan *cold plasma* kemungkinan disebabkan oleh lemahnya ikatan hidrogen yang terjadi akibat adanya spesies reaktif plasma. Sedangkan, penurunan nilai tersebut saat tegangan dinaikkan menjadi 14 kV kemungkinan disebabkan oleh menurunnya kandungan amilosa pada pati. Hal ini dikarenakan amilosa berperan penting dalam pembentukan gel selama proses pemanasan berlangsung (Thirumdas *et al.*, 2017). Tepung atau pati dengan *peak viscosity* rendah (<2000 cP) cocok diaplikasikan untuk produk cair seperti saus, *peak viscosity* sedang ($>2000-4000$ cP) cocok untuk produk puding dan beberapa produk baker, *peak viscosity* tinggi (4000-6000 cP) untuk produk yang membutuhkan struktur gel padat dan elastis seperti permen, dan *peak viscosity* sangat tinggi (>6000 cP) cocok untuk pembuatan *edible film* (Sandhu & Singh, 2007; Imanningsih, 2015).

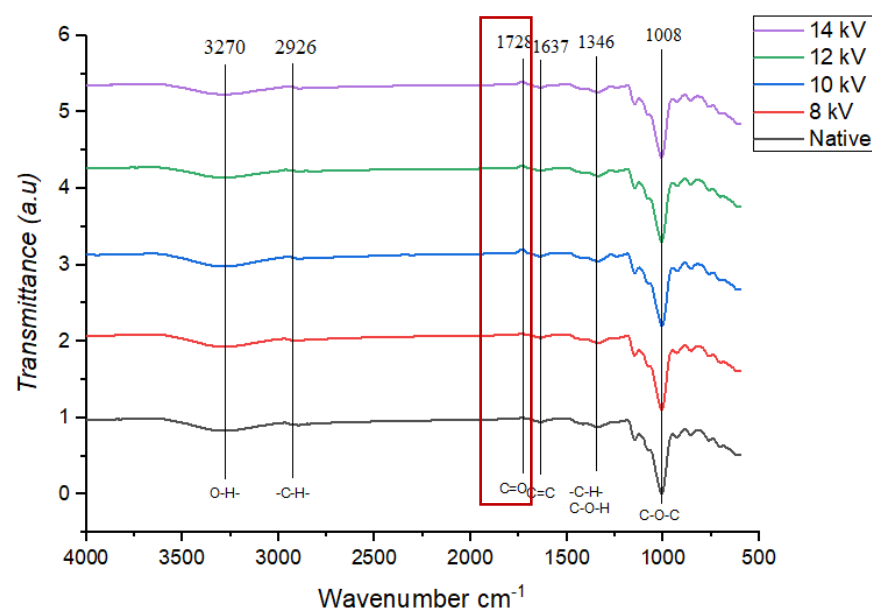
Pemberian perlakuan *cold plasma* juga menyebabkan nilai *breakdown viscosity* (BV) dan *final viscosity* (FV) cenderung meningkat. Menurut Zhang *et al.*, (2021), semakin rendah nilai BV, maka semakin tahan dan stabil pati terhadap pengadukan serta pemanasan. Sedangkan, nilai FV mencerminkan proses retrogradasi atau pembentukan ulang ikatan antar molekul pati. Terganggunya ikatan hidrogen selama proses modifikasi pati dapat mengakibatkan penggabungan molekul air sehingga viskositas pati meningkat (Thirumdas *et al.*, 2017). Nilai FV merupakan penentu dari tinggi atau rendahnya nilai *setback viscosity* (SB). SB mengindikasikan ketahanan atau kestabilan pati pada proses retrogradasi. Nilai SB pada penelitian ini cenderung menurun setelah diberi perlakuan *cold plasma*. Hal ini dikarenakan *cold plasma* menyebabkan perubahan pada ikatan antarmolekular pati dimana ikatan hidrogen pati akan berubah sehingga menyebabkan penurunan pada *setback viscosity* (Sun *et al.*, 2022). Nilai SB mencerminkan tingkat kestabilan pasta selama proses penurunan suhu (pendinginan). Semakin tinggi nilainya, maka semakin stabil pati selama proses tersebut. Beberapa produk tidak menginginkan nilai *breakdown* dan *setback* yang tinggi dikarenakan kedua karakteristik tersebut menggambarkan kestabilan pasta saat dipanaskan dan didinginkan yang berkontribusi pada pembentukan tekstur produk akhir. Apabila dilihat berdasarkan kedua aspek tersebut serta tingginya nilai *peak viscosity*, pati beras termodifikasi dengan tegangan 12 dan 14 kV cocok untuk diaplikasikan sebagai bahan baku dalam pembuatan *cake* dikarenakan membutuhkan ekspansi pengembangan yang tinggi namun, gel yang terbentuk dapat menahan struktur saat pemangangan dan pendinginan.

Pasting temperature (PT) merupakan suhu dimana granula pati mulai membengkak. Nilai PT berkaitan dengan nilai PV, semakin tinggi nilai PT maka, nilai PV akan semakin rendah (Thirumdas *et al.*, 2017). Berdasarkan Tabel 2. perlakuan *cold plasma* menyebabkan nilai PT

cenderung menurun meskipun tidak signifikan setelah diberi perlakuan plasma namun, meningkat pada tegangan 14 kV.

3.8 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Analisa FTIR bertujuan untuk mengetahui perubahan gugus kimia pada molekul pati setelah dimodifikasi menggunakan *cold plasma*. Spektrum FTIR pati beras sebelum dan setelah dimodifikasi ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5. Spektrum FTIR pati beras

Spektrum FTIR pati native menunjukkan puncak pada bilangan gelombang 3277 cm^{-1} , 2926 cm^{-1} , 1637 cm^{-1} dan 1008 cm^{-1} yang masing-masing mencerminkan adanya gugus O-H, C-H, C=C, C-H, C-O-H, C-O-C. Gambar 5. menunjukkan bahwa gugus fungsi dari pati beras yang diberi perlakuan mengikuti *peak* dan nomor gelombang yang hampir sama dengan pati beras *native*, yang mengindikasikan bahwa perlakuan *cold plasma* mempertahankan penyatuan struktur dari pati beras. Terdapat sedikit perubahan yaitu, terbentuk gugus C=O pada *peak* 1736 cm^{-1} setelah perlakuan *cold plasma* yang tidak ditemukan pada gugus fungsi pati *native* sehingga dapat dikatakan modifikasi ini berhasil dilakukan. Puncak tersebut semakin meningkat dengan kenaikan tegangan yang diberikan. Hasil ini sesuai dengan penelitian Bie *et al.*, (2016) yang melaporkan bahwasannya pemberian perlakuan plasma pada pati jagung menyebabkan pembentukan gugus C=O dan semakin menajam saat waktu dan tegangan ditambahkan. Hal tersebut disebabkan karena plasma mengandung spesies oksigen reaktif yang dapat memutus ikatan rantai karbon pati. Sisi yang terputus kemudian berikatan dengan oksidator sebagai gugus samping yang baru (El-Sheikh *et al.*, 2010), sehingga membentuk gugus karbonil (Zhang *et al.*, 2014). Pembentukan gugus C=O ini berkorelasi pada peningkatan homogenitas gel pati sehingga nilai *peak viscosity* pasta semakin tinggi setelah modifikasi. Hal

ini terjadi karena gugus C=O memperkuat interaksi antar molekul pati sehingga membentuk jaringan gel lebih stabil dan seragam selama proses gelatinisasi (Halal *et al.*, 2015)

4. KESIMPULAN

Pemberian perlakuan *cold plasma dielectric barrier discharge* (DBD) dengan beberapa variasi tagangan dalam proses modifikasi pati beras berpengaruh secara signifikan terhadap karakteristik pati beras. Peningkatan tegangan hingga 12 kV menyebabkan penurunan yang signifikan pada nilai *swelling power*, *breakdown viscosity* (BV) dan *pasting temperature* (PT) namun, nilai parameter tersebut meningkat kembali ketika tegangan dinaikkan menjadi 14 kV. Sebaliknya, perlakuan ini meningkatkan *solubility*/kelarutan, *water absorption index* (WAI), *oil absorption index* (OAI), *peak viscosity* (PV) dan *final viscosity* (FV) pati beras. Sementara itu, nilai kadar air menunjukkan penurunan secara tidak signifikan. Selain itu, terdapat sedikit perubahan yaitu, terbentuk gugus C=O pada *peak* 1736 cm^{-1} setelah perlakuan *cold plasma* yang tidak ditemukan pada gugus fungsi pati *native*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua pembimbing yang telah membantu dan membimbing penulis, serta kepada Pusat Riset Teknologi Tepat Guna (PRTTG) – BRIN yang telah menyediakan berbagai fasilitas dalam pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Anugrahati, N. A., & Yudianto, C. M. (2022). Pengaruh rasio tepung Garut hasil HMT dan xanthan gum terhadap daya serap air dan cooking loss mi laksa. *Agrointek : Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 16(3), 396–402. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v16i3.13350>
- AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists* (18th ed.). AOAC International, Gaithersburg, Md.
- Banura, S., Thirumdas, R., Kaur, A., Deshmukh, R. R., & Annapure, U. S. (2018). Modification of starch using low pressure radio frequency air plasma. *Lwt*, 89, 719–724. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.056>
- Bie, P., Pu, H., Zhang, B., Su, J., Chen, L., & Li, X. (2016). Structural characteristics and rheological properties of plasma-treated starch. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 34, 196–204. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.11.019>
- Carvalho, A. P. M. G., Barros, D. R., da Silva, L. S., Sanches, E. A., Pinto, C. da C., de Souza, S. M., Clerici, M. T. P. S., Rodrigues, S., Fernandes, F. A. N., & Campelo, P. H. (2021). Dielectric barrier atmospheric cold plasma applied to the modification of Ariá (*Goeppertia allouia*) starch: Effect of plasma generation voltage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 182, 1618–1627. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.165>
- Chaiwat, W., Wongsagonup, R., Tangpanichyanon, N., Jariyaporn, T., Deeyai, P., Suphantharika, M., Fuongfuchat, A., Nisoa, M., & Dangtip, S. (2016). Argon Plasma Treatment of Tapioca Starch Using a Semi-continuous Downer Reactor. *Food and Bioprocess Technology*, 9(7), 1125–1134. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1701-6>
- Chen, Y., She, Y., Zhang, R., Wang, J., Zhang, X., & Gou, X. (2020). Use of starch-based fat replacers in foods as a strategy to reduce dietary intake of fat and risk of metabolic diseases. *Food Science and Nutrition*, 8(1), 16–22. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1303>
- Dewi, K. L., Aulina, D. E., Wulandari, F., & Maharani, S. (2022). Modifikasi Pati dengan Fermentasi (*S. cerevisiae*) pada Tepung Pisang, Tepung Ubi Ungu, dan Tepung Ketan Hitam. *Edufortech*,

- 7(2), 182–200. <https://doi.org/10.17509/edufortech.v7i2.51624>
- Diniyah, N., Subagio, A., Lutfian Sari, R. N., & Yuwana, N. (2019). Sifat Fisikokimia Dan Fungsional Pati Dari Mocaf (Modified Cassava Flour) Varietas Kaspro Dan Cimanggu. *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian*, 15(2), 80. <https://doi.org/10.21082/jpasca.v15n2.2018.80-90>
- El-Sheikh, M. A., Ramadan, M. A., & El-Shafie, A. (2010). Photo-oxidation of rice starch. Part I: Using hydrogen peroxide. *Carbohydrate Polymers*, 80(1), 266–269. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.11.023>
- Feizollahi, E., Misra, N. N., & Roopesh, M. S. (2021). Factors influencing the antimicrobial efficacy of Dielectric Barrier Discharge (DBD) Atmospheric Cold Plasma (ACP) in food processing applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(4), 666–689. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1743967>
- Fitriani, S., Yusmarini, Y., Riftyan, E., Saputra, E., & Rohmah, M. C. (2023). Karakteristik dan Profil Pasta Pati Sagu Modifikasi Pragelatinisasi pada Suhu yang Berbeda. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 16(2), 104. <https://doi.org/10.20961/jthp.v16i2.56057>
- Ge, X., Shen, H., Sun, X., Liang, W., Zhang, X., Sun, Z., Lu, Y., & Li, W. (2022). Insight into the improving effect on multi-scale structure, physicochemical and rheology properties of granular cold water soluble rice starch by dielectric barrier discharge cold plasma processing. *Food Hydrocolloids*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107732>
- Goiana, M. L., & Fernandes, F. A. N. (2023). Influence of Dielectric Barrier Discharge Plasma Treatment on Corn Starch Properties. *Processes*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/pr11071966>
- Gupta, R. K., Guha, P., & Srivastav, P. P. (2023). Effect of high voltage dielectric barrier discharge (DBD) atmospheric cold plasma treatment on physicochemical and functional properties of taro (*Colocasia esculenta*) starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253(2). <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126772>
- Halal, S. L. M. El, Colussi, R., Pinto, V. Z., Bartz, J., Radunz, M., Carreño, N. L. V., Dias, A. R. G., & Zavareze, E. D. R. (2015). Structure, morphology and functionality of acetylated and oxidised barley starches. *Food Chemistry*, 168, 247–256. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.046>
- Imanningsih, N. (2015). Profil Gelatinisasi Beberapa Formulasi Tepung-Tepungan Untuk Pendugaan Sifat Pemasakan (Gelatinisation Profile of Several Flour Formulations for Estimating Cooking Behaviour). *Penel Gizi Makanan*, 35(1), 13–22.
- Khikmah, N., Muflihati, I., Affandi, A. R., & Nurdyansyah, F. (2021). Sifat Fisik Pati Ganyong Hasil Modifikasi Cross Linking Menggunakan Natrium Asetat. *Metana : Media Komunikasi Rekayasa Proses Dan Teknologi Tepat Guna*, 17(1), 35–40.
- Lan, H., Hoover, R., Jayakody, L., Liu, Q., Donner, E., Baga, M., Asare, E. K., Hucl, P., & Chibbar, R. N. (2008). Impact of annealing on the molecular structure and physicochemical properties of normal, waxy and high amylose bread wheat starches. *Food Chemistry*, 111(3), 663–675. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.055>
- Lee, S. J., Hong, J. Y., Lee, E. J., Chung, H. J., & Lim, S. T. (2015). Impact of single and dual modifications on physicochemical properties of japonica and indica rice starches. *Carbohydrate Polymers*, 122, 77–83. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.01.009>
- Liang, Y., Zheng, L., Yang, Y., Zheng, X., Dao, X., Ai, B., & Zhanwu, S. (2024). Dielectric barrier discharge cold plasma modifies the multiscale structure and functional properties of banana starchle. *International Journal of Biological Macromolecules*, 264(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130462>
- Marenco-Orozco, G. A., Rosa, M. F., & Fernandes, F. A. N. (2022). Effects of multiple-step cold plasma processing on banana (*Musa sapientum*) starch-based films. *Packaging Technology and Science*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/pts.2636>
- Moura, H. V., Gusmão, R. P. de, Gusmão, T. A. S., Castro, D. S. de, Almeida, R. L. J., & Figueirêdo, R. M. F. de. (2020). Extraction and Characterization of Native Starch From Black and Red Rice. *Journal of Agricultural Studies*, 8(3), 1. <https://doi.org/10.5296/jas.v8i3.16183>
- Nasiru, M. M., Frimpong, E. B., Muhammad, U., Qian, J., Mustapha, A. T., Yan, W., Zhuang, H., &

- Zhang, J. (2021). Dielectric barrier discharge cold atmospheric plasma: Influence of processing parameters on microbial inactivation in meat and meat products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(3), 2626–2659. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12740>
- Widyahapsari, D. A., -, H., Setyawati, S. R., Sirait, S. D., & Yuliana, E. (2021). Penurunan Kadar Total Oksalat Tepung Talas dan Tepung Belitung asal Bogor, Indonesia Menggunakan Dua Metode Perendaman. *Warta Akab*, 45(2), 78–83. <https://doi.org/10.55075/wa.v45i2.32>
- Obadi, M., Qi, Y., & Xu, B. (2023). No TitleHigh-amylose maize starch: Structure, properties, modifications and industrial applications. *Carbohydrate Polymers*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120185>
- Okyere, A. Y., Rajendran, S., & Annor, G. A. (2022). Cold plasma technologies: Their effect on starch properties and industrial scale-up for starch modification. *Current Research in Food Science*, 5, 451–463. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.02.007>
- Pankaj, S. K., Shi, H., & Keener, K. M. (2018). A review of novel physical and chemical decontamination technologies for aflatoxin in food. *Trends in Food Science and Technology*, 71(November 2017), 73–83. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.007>
- Polnaya, F. J., Huwae, A. A., & Tetelepta, G. (2018). Karakteristik Sifat Fisiko-Kimia dan Fungsional Pati Sagu Ihur (Metroxylon sylvestre) Dimodifikasi dengan Hidrolisis Asam Physico-chemical and Functional Properties of Ihur Sago (Metroxylon sylvestre) Starch by Modified Acid. *Agritech*, 38(1), 7–15.
- Sandhu, K. S., & Singh, N. (2007). Some properties of corn starches II: Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. *Food Chemistry*, 101(4), 1499–1507. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.060>
- Sarangapani, C., Thirumdas, R., Devi, Y., Trimukhe, A., Deshmukh, R. R., & Annapure, U. S. (2016). Effect of low-pressure plasma on physico-chemical and functional properties of parboiled rice flour. *Lwt*, 69, 482–489. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.003>
- Shen, H., Guo, Y., Zhao, J., Zhao, J., Ge, X., Zhang, Q., & Yan, W. (2021). The multi-scale structure and physicochemical properties of mung bean starch modified by ultrasound combined with plasma treatment. *International Journal of Biological Macromolecules*, 191, 821–831. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.09.157>
- Sonkar, S., Jaddu, S., Pradhan, R. C., Dwivedi, M., Seth, D., Goksen, G., Sarangi, P. K., & Lorenzo, J. M. (2023). Effect of atmospheric cold plasma (pin type) on hydration and structure properties of kodo-millet starch. *Lwt*, 182(May), 114889. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114889>
- Srangsomjit, Natchanon. Bovornratanaraks, Thiti., Chotineeranat, Sunee., Anuntagool, J. (n.d.). *Solid-state modification of tapioca starch using atmospheric nonthermal dielectric barrier discharge argon and helium plasma*.
- Srangsomjit, N., Bovornratanaraks, T., Chotineeranat, S., & Anuntagool, J. (2022). Solid-state modification of tapioca starch using atmospheric nonthermal dielectric barrier discharge argon and helium plasma. *Food Research International*, 162. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111961>
- Sun, X., Saleh, A. S. M., Sun, Z., Ge, X., Shen, H., Zhang, Q., Yu, X., Yuan, L., & Li, W. (2022). Modification of multi-scale structure , physicochemical properties , and digestibility of rice starch via microwave and cold plasma treatments. *LWT*, 153(September 2021), 112483. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112483>
- Thirumdas, R., Trimukhe, A., Deshmukh, R. R., & Annapure, U. S. (2017). Functional and rheological properties of cold plasma treated rice starch. In *Carbohydrate Polymers* (Vol. 157). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.11.050>
- Yousf, N., Nazir, F., Salim, R., Ahsan, H., & Sirwal, A. (2017). Water solubility index and water absorption index of extruded product from rice and carrot blend. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(6), 2165–2168.
- Zhang, B., Xiong, S., Li, X., Li, L., Xie, F., & Chen, L. (2014). Effect of oxygen glow plasma on supramolecular and molecular structures of starch and related mechanism. *Food Hydrocolloids*,

37, 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.10.034>

Zhang, B., Zhang, Q., Wu, H., Su, C., Ge, X., Shen, H., Han, L., Yu, X., & Li, W. (2021). The influence of repeated versus continuous dry-heating on the performance of wheat starch with different amylose content. *Lwt*, 136(P2), 110380. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110380>