

V. HASIL PENGAMATAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Uji Gugus Karboksil Metode Titrasi

Gugus karboksil diuji menggunakan metode titrasi asam (HCl) dan basa (NaOH) hingga pH mencapai 8,3. Jumlah gugus karboksil yang terbentuk akan menunjukkan tingkat oksidasi pada pati, tingkat depolimerisasi dari amilosa dan amilopektin, serta konversi dari hidroksil menjadi karbonil dan karboksil (Oladebeye *et al.*, 2013). Uji gugus karboksil pati pisang kapas alami dan modifikasi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Data Uji Gugus Karboksil Pati Pisang Kapas Alami dan Termodifikasi Oksidasi

Perlakuan	Gugus Karboksil (COOH/100 GU)
Alami	0,0000
Ozonasi 10 Siklus	0,0302 ± 0,005
Ozonasi 20 Siklus	0,0565 ± 0,010

Keterangan: Pati alami digunakan sebagai blanko

Pati pisang kapas termodifikasi oksidasi dengan ozonasi 10 siklus menunjukkan adanya peningkatan gugus karboksil sekitar 0,0302%. Nilai gugus karboksil terus meningkat seiring bertambahnya siklus ozonasi yang dilakukan yakni sebesar 0,0565% pada perlakuan ozonasi 20 siklus. Peningkatan nilai gugus karboksil menurut Wurzburg (1986) diakibatkan oksidasi gugus hidroksil bebas pada C2, C3, dan C6 yang lama kelamaan mampu mendegradasi pati akibat terputusnya amilosa. Peningkatan gugus karboksil ini sesuai dengan penelitian Oladebeye *et al.* (2013) yakni seiring penambahan waktu ozonasi maka semakin meningkat gugus karboksil yang terbentuk dimana waktu ozonasi 15 menit menghasilkan gugus karboksil lebih tinggi dibandingkan waktu ozonasi 5 menit dan 10 menit pada sampel pati ubi rambat. Hasil ini sejalan dengan penelitian

sebelumnya (Cahyana *et al.*, 2018) yang menyatakan adanya peningkatan gugus karboksil pati pisang kapas yang telah dimodifikasi menggunakan ozon gas pada konsentrasi 100 dan 200 ppm dimana terbentuk gugus karboksil sebesar 0,0114% dan 0,0235%.

Peningkatan gugus karboksil pada pati termodifikasi oksidasi berpengaruh pada sifat fungsional dan sifat amilografi. Gozé *et al.* (2016) menjelaskan bahwa adanya peningkatan gugus karboksil menyebabkan peningkatan pada pembengkakan granula pati pada pemanasan menggunakan air yang kemudian meningkatkan *paste breakdown*.

5.2 Sifat Kristalinitas Pati dengan *X-Ray Diffraction* (XRD)

Intensitas puncak difraksi x-ray dan kristalinitas pati menurut Zhang *et al.* (2012) mencerminkan perubahan pada daerah amorf dan daerah kristalin. Berdasarkan hasil analisis sudut difraksi dan pola difraksi pati pisang kapas alami diklasifikasikan ke dalam tipe B. Hasil modifikasi secara oksidasi menggunakan ozon tidak menunjukkan perubahan tipe pola difraksi. Data sudut dan tipe kristalinitas pati pisang kapas alami dan modifikasi dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Data Sudut Difraksi dan Tipe Pola Difraksi Pati Pisang Kapas Alami dan Termodifikasi Oksidasi

Perlakuan	Sudut Difraksi (2θ)	Tipe Pola Difraksi
Alami	5,60°; 15,14°; 16,71°; 21,94°	B
Ozonasi 10 Siklus	5,78°; 15,06°; 17,00°; 18,23	B
Ozonasi 20 Siklus	5,43°; 15,03°; 16,98°; 24,14°	B

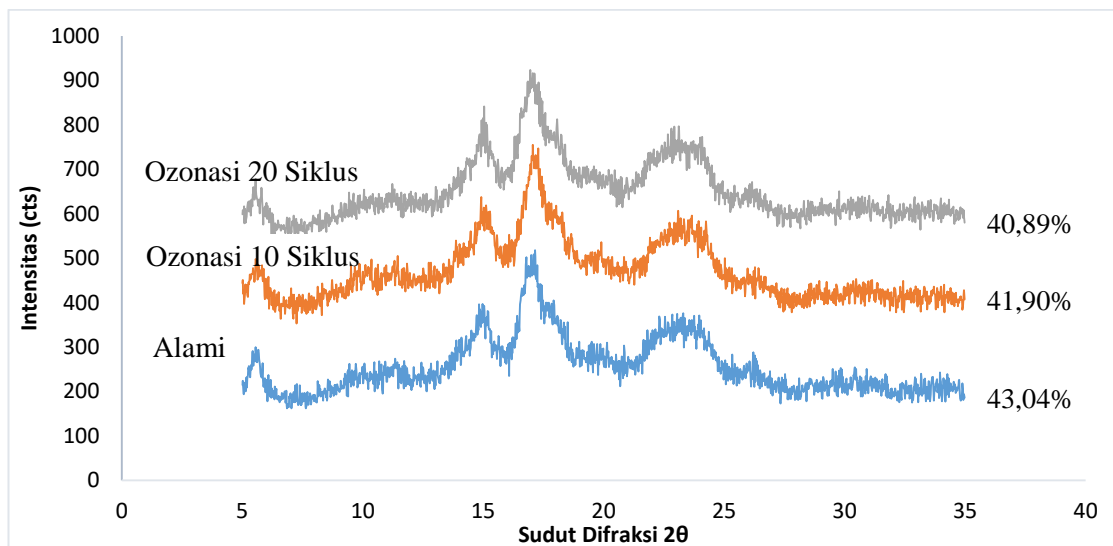
Pati pisang kapas alami menunjukkan puncak kecil pada 5,60° dan puncak kuat pada 15,14° dan 16,71° yang diklasifikasikan kedalam tipe B. Puncak pada 5,38° dan 16,86° menurut Waliszweski *et al.* (2003) dan Pelissari *et al.* (2013)

merupakan puncak identitas kristalin tipe B. Hasil ini sejalan dengan Agama-Acevedo *et al.* (2015) dan Cahyana *et al.* (2018) yang menyatakan bahwa pati pisang termasuk kedalam pola difraksi *x-ray* tipe B. Namun, hasil ini berbeda dengan penelitian Bello-Perez *et al.* (2000) yang menyatakan pati pisang memiliki pola difraksi tipe A dan tipe C menurut Bello-Perez *et al.* (2005). Tipe pola difraksi dari pati pisang yang cukup bervariasi, menurut Zhang *et al.* (2005) bergantung pada varietas, kondisi lingkungan saat penanaman, dan teknik isolasi pati. Selain itu, perbedaan kristalinitas pati menurut Hoover dan Ratnayake (2002) dapat dikaitkan dengan ukuran kristal, kandungan amilopektin, orientasi heliks ganda amilopektin di dalam area kristalin, dan tingkat interaksi antara heliks ganda.

Proses modifikasi pati pisang kapas menggunakan ozonasi menunjukkan tidak adanya perubahan pada tipe difraksi *x-ray*. Hasil ini sejalan dengan penelitian Cahyana *et al.* (2018) dimana tidak terjadinya perubahan tipe pola difraksi pada pati dan tepung pisang kapas setelah ozonasi 100 ppm dan 200 ppm. Pati pisang kapas termodifikasi oksidasi dengan 10 siklus menunjukkan puncak kecil pada $5,78^\circ$ dan puncak kuat pada $17,00^\circ$ sedangkan pati dengan ozonasi 20 siklus menunjukkan puncak kecil pada $5,43^\circ$ dan $16,98^\circ$. Nilai puncak pada pati ozonasi 10 siklus dan 20 siklus tidak terlalu berbeda dan menurut Pukkahua dan Varvinit (2007) berdasarkan titik puncak tersebut tergolong pola difraksi tipe B.

Tipe pola difraksi pati menurut Hizukuri (1985) dipengaruhi oleh panjang rantai cabang amilopektin. Pati dengan rantai cabang amilopektin yang pendek (DP 23-29) menunjukkan pola difraksi *x-ray* tipe A, pati dengan rantai cabang yang

panjang (DP 30-44) menunjukkan pola difraksi tipe B dan pati dengan panjang rantan diantara kedua tipe tersebut (DP 26-30) menunjukkan pola difraksi tipe C.



Gambar 14. Grafik X-Ray Diffraction Pati Pisang Kapas Alami dan Termodifikasi Oksidasi

Derajat kristalinitas pati pisang kapas alami sebesar 43,04% sedangkan pada pati ozonasi 10 siklus dan 20 siklus masing-masing sebesar 41,90% dan 40,89%. Hasil ini menunjukkan bahwa proses modifikasi secara ozonasi mampu menurunkan nilai kristalinitas sebesar 1,14%. Adanya penurunan derajat kristalinitas seiring meningkatnya siklus ozonasi mengindikasikan adanya depolimerisasi parsial yang lebih tinggi pada rantai amilopektin (Zavareze *et al.*, 2017)

Hasil ini sejalan dengan penelitian Klein *et al.* (2014) yakni adanya penurunan kristalinitas suspensi pati singkong setelah diozonasi dan penelitian Cahyana *et al.* (2018) yang menjelaskan adanya penurunan kristalinitas tepung dan pati pisang kapas sebesar 1,8% setelah proses ozonasi dengan konsentrasi 200 ppm. Adanya penurunan derajat kristalinitas menurut Klein *et al.* (2014) menunjukkan

oksidasi akibat menggunakan ozon tidak hanya terjadi pada daerah amorf tetapi terjadi pula pada daerah semi-kristalin dan penurunan ini dapat disebabkan karena terjadinya depolimerisasi ikatan α -(1,4) glikosidik. Efek oksidasi pada kristalinitas pati tergantung pada sumber pati dan kondisi reaksi. Kandungan amilosa menurut Jenkins dan Donald (1995) juga mampu mempengaruhi akses zat pengoksidasi terhadap pati selama oksidasi.

5.3 Sifat Termal Pati dengan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC)

Differential Scanning Calorimetry berfungsi untuk mengukur sejumlah panas yang terkait selama gelatinisasi pati dengan alat *differential scanning calorimeter*. Data sifat termal pati pisang kapas ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Sifat Termal Pati Pisang Alami dan Termodifikasi Ozonasi

Perlakuan	To (°C)	Tp (°C)	Tc (°C)	ΔT (°C)	ΔH (J/g)
Alami	72,48	75,50	78,04	5,56	3,23
	78,74	79,34	81,54	2,8	15,57
	85,92	86,51	88,11	2,19	1,27
Ozonasi 10 Siklus	72,80	75,16	82,84	10,76	12,41
Ozonasi 20 Siklus	72,92	76,04	78,77	5,85	12,99

Keterangan:

To = onset temperature; Tp= peak temperature, Tc= conclusion temperature, ΔT = temperature range, ΔH = entalpi gelatinisasi.

Barichello *et al.* (1990) menjelaskan bahwa nilai *onset temperature* yang lebih tinggi menunjukkan terdapatnya daerah kristalin yang lebih stabil, *peak temperature* yang lebih tinggi menunjukkan adanya struktur kristal yang tersusun lebih teratur atau memiliki sedikit daerah amorf, dan tingginya nilai *conclusion temperature* menunjukkan lebih stabilnya daerah kristalin karena susunan yang lebih teratur. Menurut Wang *et al.* (2014) suhu termal yang lebih tinggi dapat dikaitkan dengan tingkat kristalinitas dan struktur kristalinitas yang lebih teratur.

Suhu gelatinisasi dan entalpi gelatinisasi menurut Sandhu *et al.* (2008) dapat dipengaruhi oleh mikrostruktur, tingkat kristalinitas, ukuran granula, serta rasio antara amilosa dan amilopektin.

Sifat termal pati pisang kapas alami pada Tabel 8, menunjukkan adanya tiga data suhu gelatinisasi dan entalpi gelatinisasi. Tiga data tersebut muncul dari satu grafik yang sama pada pengujian sifat termal (Lampiran 6) dimana pada pati alami terbentuk tiga *peak* sedangkan pada pati termodifikasi hanya muncul satu *peak*. *Peak* pertama pada menunjukkan gelatinisasi pada pati alami sedangkan *peak* ke dua dan tiga menunjukkan gabungan amilosa-lipid kompleks. Adanya tiga *peak* tersebut, dapat disebabkan karena tidak seragamnya mikrostruktur pada granula yang menyebabkan adanya perbedaan energi dan suhu yang dibutuhkan untuk mencapai gelatinisasi. Terdapatnya tiga *peak* dalam pati alami ini tidak sesuai dengan penelitian Oladebeye *at al.* (2013) yang hanya menemukan satu *peak* pada bahan alaminya sedangkan penelitian Gozé *et al.* (2016) menemukan dua *peak* dimana *peak* pertama merupakan *peak* gelatinisasi dan *peak* kedua merupakan *peak* amilosa-lipid kompleks. Perubahan jumlah *peak* dari pati alami setelah dimodifikasi mengindikasikan adanya peningkatan keseragaman kristalinitas dan ukuran granula sehingga energi dan suhu gelatinisasi yang dibutuhkan tidak berbeda.

Pati pisang kapas termodifikasi ozonasi 10 siklus mengalami penurunan suhu gelatinisasi (T_o , T_p) dan mengalami peningkatan nilai T_c (*conclusion temperature*) dibandingkan dengan pati pisang kapas alami. Adanya penurunan pada T_o dan T_p menunjukkan struktur kristal pati setelah ozonasi 10 siklus tersusun

tidak teratur, kurang stabil, dan cenderung memiliki daerah amorf lebih banyak dibandingkan pati pisang alami. Hal ini sesuai dengan derajat kristalinitas pati ozonasi 10 siklus yang mengalami penurunan dari pati alami yang sebesar 43,04% menjadi 41,90%.

Penurunan suhu gelatinisasi (T_o , T_p , T_c) terjadi pula pada pati pisang kapas ozonasi 20 siklus dibandingkan dengan pati pisang kapas alami. Adanya penurunan suhu gelatinisasi dapat disebabkan oleh menurunnya derajat kristalinitas. Hasil ini sejalan dengan penelitian Wojeicchowski *et al.* (2018) dimana terjadi penurunan suhu gelatinisasi (T_o , T_p , T_c) pada pati kacang setelah modifikasi oksidasi yang dapat disebabkan karena terjadi penurunan pula pada derajat kristalinitasnya.

Pati pisang kapas termodifikasi ozonasi 20 siklus memiliki suhu gelatinisasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan pati termodifikasi ozonasi 10 siklus. Hasil ini menunjukkan bahwa modifikasi ozonasi 10 siklus sudah mampu menurunkan sifat termal pati pisang kapas namun belum mampu menghasilkan daerah kristalin pati yang stabil dan lebih seragam. Keseragaman kristalin pati ditunjukkan dengan melebarnya *range* suhu gelatinisasi pati pisang setelah modifikasi dimana menurut Hu *et al.* (2014) melebarnya *temperature range* (ΔT) menggambarkan keseragaman kristal amilopektin yang terbentuk selama modifikasi. Adanya pelebaran *temperature range* (ΔT) yang cukup besar pada modifikasi ozonasi 10 siklus menunjukkan kristal pati setelah modifikasi lebih tidak beraturan dibandingkan dengan pati alaminya dan pati ozonasi 20 siklus (Song *et al.*, 2014).

Entalpi gelatinisasi (ΔH) menurut Liu *et al.* (2016) menunjukkan banyaknya heliks ganda yang teratur dan mewakili heliks ganda yang tidak beraturan.

Cenderung meningkatnya entalpi gelatinisasi menurut Cooke dan Gidley (1992) menyebabkan kestabilan granula yang lebih tinggi dengan suhu gelatinisasi yang lebih tinggi. Adanya peningkatan entalpi gelatinisasi setelah modifikasi oksidasi sesuai dengan penelitian Vanier *et al.* (2012) dimana pati singkong termodifikasi menggunakan natrium hipoklorit menunjukkan adanya peningkatan nilai entalpi gelatinisasi, namun berbeda dengan penelitian Sandhu *et al.* (2008) dan Sangseethong *et al.* (2009) yang menunjukkan adanya penurunan entalpi gelatinisasi setelah pati termodifikasi oksidasi dibandingkan dengan pati alaminya.

Adanya perubahan pada suhu dan entalpi gelatinisasi ini tidak sejalan dengan penelitian Gozé *et al.* (2016) yang menyatakan bahwa modifikasi ozonasi tidak mempengaruhi sifat termal pati gandum jenis Rubisko dan Diamento. Hasil ini juga berbeda dengan penelitian Oladebeye *et al.* (2013) yang menyatakan bahwa pati ubi rambat modifikasi ozonasi dengan menggunakan waktu ozonasi yang berbeda tidak memberikan perbedaan yang signifikan dengan pati ubi rambat alaminya. Penelitian Sandhu *et al.* (2012) juga menyatakan tidak adanya pengaruh ozonasi terhadap sifat termal yang dianalisis menggunakan DSC pada sampel pati gandum.

5.4 Pengaruh Ozonasi terhadap Gula Pereduksi Bebas

Gula pereduksi seperti maltosa dan glukosa yang berada dalam granula pati dapat terdeteksi menggunakan metode Prussian blue. Gula pereduksi ini dapat dikatakan sebagai gula pereduksi bebas karena tidak terhubung dengan rantai

amilosa maupun amilopektin. Data gula pereduksi bebas pati pisang kapas alami dan termodifikasi oksidasi ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Data Gula Pereduksi Bebas Pati Pisang Alami dan Termodifikasi Oksidasi

Perlakuan	Gula Pereduksi Bebas (μM)
Alami	$8,130 \pm 3,012$
Ozonasi 10 Siklus	$38,493 \pm 4,331$
Ozonasi 20 Siklus	$94,222 \pm 5,107$

Data pati pisang kapas alami pada Tabel 9, menunjukkan adanya gula pereduksi bebas dalam granula pati yang tidak terhubung dengan rantai amilosa dan amilopektin. Gula pereduksi bebas ini mampu keluar dari granula pati tanpa adanya aktivitas enzim. Keluarnya gula pereduksi bebas ini dapat disebabkan karena struktur pati sudah tidak sempurna akibat pengeringan pada proses ekstraksi pati serta purifikasi menggunakan etanol. Adanya gula pereduksi pada pati alami ini sesuai dengan penelitian Lii *et al.* (1982) yang menyatakan adanya kandungan gula pereduksi sebanyak 0,2% pada pisang dengan tingkat kematangan I.

Hasil pada Tabel 9 menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan dari pati alami dengan pati termodifikasi ozonasi baik 10 maupun 20 siklus. Adanya peningkatan ini disebabkan oleh modifikasi menggunakan ozonasi dalam memutus ikatan α -(1,4) glikosidik. Hasil ini sesuai dengan penjelasan Wurzburg (1986) tentang dua tahapan reaksi yang terjadi selama proses oksidasi yaitu teroksidasinya gugus hidroksil menjadi gugus karbonil dan gugus karboksil serta tahapan depolimerisasi molekul pati akibat terputusnya ikatan α -(1,4) glikosidik dan ikatan α -(1,6) glikosidik. Tingginya kandungan gula pereduksi pada pati pisang kapas dengan perlakuan ozonasi 20 siklus dapat menunjukkan semakin banyaknya ikatan α -(1,4) glikosidik dan α -(1,6) glikosidik yang terputus dibandingkan dengan

perlakuan ozonasi 10 siklus. Peningkatan gula pereduksi setelah proses oksidasi dapat pula disebabkan oleh melemahnya struktur granula pati seiring bertambahnya konsentrasi sehingga menyebabkan terlarutnya fraksi amilosa kedalam air (*leaching amylose*) (Adebowale *et al.* (2002).

5.5 Pengujian Daya Cerna Pati

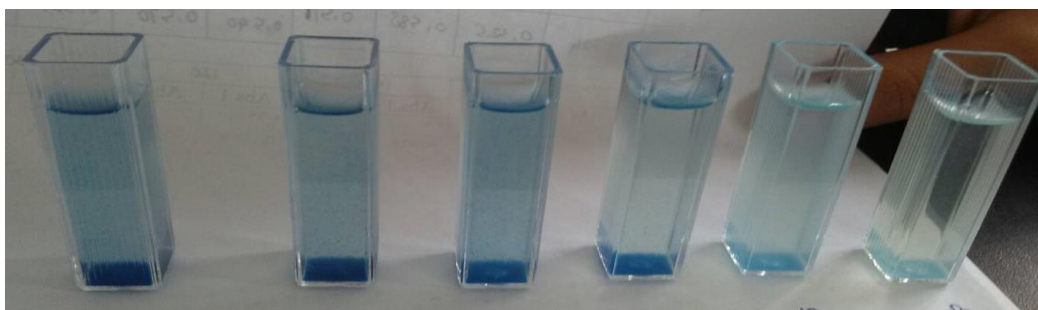
Pengujian daya cerna pati pada sampel pati pisang kapas alami dan pati pisang kapas termodifikasi oksidasi terbagi menjadi dua tahap yaitu tahap penambahan enzim dan tahap pengujian gula pereduksi. Tahap pertama yakni penambahan enzim dilakukan setelah sampel dilarutkan dalam larutan PBS (*Phosphate Buffer Saline*) pH 7,4 kemudian sampel dikondisikan menggunakan inkubator dengan suhu 37°C. Larutan PBS yang digunakan harus memiliki pH 7,4 sehingga enzim mampu bekerja secara optimum dimana menurut Sky-Peck dan Thuvasethakul (1977) dalam penelitiannya tentang pengaruh pH pada enzim α -amilase menyatakan bahwa α -amilase stabil pada pH 5,0-10,0 dan memiliki pH optimum 7,0.

Sebelum penambahan enzim, dilakukan pengambilan aliquot sebanyak 600 μ L sebagai titik 0 (nol). Enzim yang akan ditambahkan pada sampel sudah dilarutkan terlebih dahulu dalam larutan PBS yang mengandung BSA (Bovine Serum Albumin) 0,1%. Penambahan BSA dalam pelarutan enzim α -amilase berfungsi untuk menjaga kestabilan enzim tersebut. Menurut penelitian Kishore *et al.* (2014) tentang penambahan BSA dalam larutan α -amilase mampu menjaga kestabilan enzim dan mampu meningkatkan suhu inaktif enzim dari 50°C menjadi

80°C dengan waktu inkubasi selama 3 jam. Konsentrasi enzim α -amilase yang digunakan sebesar 5 nM dan di inkubasi hingga 120 menit dimana setiap pengambilan aliquot dilakukan di dalam *waterbath* untuk menjaga suhu sampel tetap 37°C. Sampel yang sudah diambil akan dicampurkan dengan larutan Na_2CO_3 0,3M dengan pH 11,5 yang berfungsi untuk menonaktifkan aktivitas enzim. Perbandingan larutan Na_2CO_3 yang dicampurkan dengan sampel sebesar 1:1. Apabila perbandingan Na_2CO_3 lebih tinggi seperti 1:2 akan berpengaruh pada kadar gula pereduksi yang dihasilkan yakni menjadi lebih encer sehingga pada tahap pengujian gula pereduksi tidak terbentuk warna biru. Perbandingan larutan Na_2CO_3 yang sesuai yakni 1:1 sudah mampu menonaktifkan aktivitas enzim dan tidak akan mengganggu pada tahap pengujian gula pereduksi.

Tahapan selanjutnya adalah pengujian gula pereduksi seperti maltosa menggunakan metode Prussian blue. Prinsip metode ini adalah kalorimetri menggunakan spektrofometer dengan panjang gelombang yang digunakan (λ) sebesar 690nm. Metode Metode Prussian blue merupakan metode pengujian gula pereduksi paling sensitif menurut Moretti dan Thorson (2008) dibandingkan dengan metode DNS (3,5-dinitrosalicylic acid). Menurut Park dan Johnson (1949) dikutip Patel (2014), gula pereduksi seperti maltosa dapat dideteksi dengan kalorimetri menggunakan Prussian blue dimana dalam reaksinya terjadi proses reduksi ion *ferricyanide* menjadi *ferric ferrocyanide*. Adanya tingkat sensitivitas yang tinggi dan banyaknya kandungan ion CN dan Fe dalam pembuatan reagen Prussian blue maka perlu digunakan air khusus yakni air deionisasi dimana didalamnya sudah tidak terkandung ion-ion yang dapat mengganggu proses pengujian gula pereduksi.

Penggunaan air biasa seperti akuades ataupun akuabides akan mengganggu proses pengujian gula pereduksi karena ion *ferricyanide* tidak tereduksi secara sempurna sehingga terbentuk endapan selama proses inkubasi berlangsung. Tidak sempurnanya proses reduksi tersebut mengakibatkan warna biru yang muncul menjadi tidak stabil dan cenderung keruh setelah didiamkan selama beberapa menit. Perbedaan jenis air yang digunakan terhadap sampel dapat dilihat pada Gambar 14 dan Gambar 15.



Gambar 15. Sampel dengan Penggunaan Air Akuabides dalam Pembuatan Reagen Prussian blue



Gambar 16. Sampel dengan Penggunaan Air Deionisasi dalam Pembuatan Reagen Prussian blue

Lebih stabilnya warna biru pada sampel yang menggunakan air deionisasi sesuai dengan penelitian Slaughter *et al.* (2001) dimana warna biru akan terbentuk dan dapat diuji menggunakan spektrofometer setelah inkubasi selama 2 jam serta warna biru akan terus stabil tanpa endapan hingga 20 jam. Penelitian Tahir *et al.*

(2008) juga menyatakan sampel dapat diuji setelah diinkubasi selama 2,5 jam dan adanya kecenderungan peningkatan absorbansi sebesar 0,010 setiap jam. Penggunaan air deionisasi dalam pembuatan reagen Prussian blue juga dijelaskan dalam penelitian Patel (2014).

Pengujian gula pereduksi menggunakan Prussian blue memerlukan proses pengenceran yang berfungsi untuk menghasilkan konsentrasi gula pereduksi yang berada diantara *range* konsentrasi kurva standar yang telah dibuat dan untuk mengurangi konsentrasi PBS dari volume total sampel serta untuk mengurangi gelembung-gelembung yang terbentuk setelah di *vortex* dan dimasukkan ke dalam kuvet. Gelembung-gelembung ini mampu mengganggu nilai absorbansi yang dihasilkan. Pengenceran dilakukan menggunakan air deionisasi. Pengenceran menggunakan akuades dan akuabides menyebabkan terbentuknya endapan biru, warna yang tidak stabil, dan keruh sedangkan pengenceran menggunakan PBS menyebabkan terbentuknya gelembung-gelembung setelah dimasukkan kedalam kuvet dan mempengaruhi warna biru yang dihasilkan yakni menjadi lebih keruh dan tidak jernih. Perbedaan sampel yang diencerkan dan tidak dapat dilihat pada Gambar 16 dan Gambar 17.



Gambar 17. Pengujian Gula Pereduksi dengan Pengenceran Menggunakan Air Deionisasi



Gambar 18. Pengujian Gula Pereduksi Tanpa Pengenceran

Daya cerna pati menghasilkan data berupa nilai K (min^{-1}) yaitu laju kinetika enzim dan nilai C_{∞} yaitu banyaknya pati yang sudah dicerna (%). Selain itu, daya cerna pati yang dilakukan dapat digunakan untuk mengetahui banyaknya gula pereduksi bebas atau yang gula pereduksi yang sudah ada dalam sampel sebelum penambahan enzim. Data daya cerna pati yang dihasilkan setelah tahapan pengenziman dan pengujian gula pereduksi dapat dilihat pada Tabel 10 berikut.

Tabel 10. Data Daya Cerna Pati Pisang Kapas Alami dan Termodifikasi Oksidasi

Perlakuan	K (min^{-1})	C_{∞} (%)
Alami	$0,00955 \pm 0,0021$	$0,8520 \pm 0,1491$
Ozonasi 10 Siklus	$0,02485 \pm 0,0087$	$0,9449 \pm 0,1500$
Ozonasi 20 Siklus	$0,02625 \pm 0,0005$	$1,4375 \pm 0,2699$

Keterangan:

K = Laju kinetika enzim; C_{∞} = Banyaknya pati yang terhidrolisis

Hasil daya cerna pati menggunakan LOS plot didapatkan data seperti pada Tabel 10. Pati alami memiliki nilai laju kinetika sebesar $0,00955 \text{ min}^{-1}$ dengan banyaknya pati yang terhidrolisis sebesar $0,8520\%$. Pati yang dimodifikasi secara oksidasi menggunakan ozonasi mengalami peningkatan nilai K dan C_{∞} . Pati pisang kapas dengan ozonasi 10 siklus menghasilkan nilai K sebesar $0,02485 \text{ min}^{-1}$ dan C_{∞} sebesar $0,9449\%$ sedangkan dengan ozonasi 20 siklus menghasilkan nilai K sebesar $0,02625 \text{ min}^{-1}$ dan C_{∞} sebesar $1,4375\%$. Adanya peningkatan nilai K dan C_{∞} pada pati pisang yang telah dimodifikasi dapat disebabkan karena adanya

penurunan derajat kristalinitas setelah dimodifikasi oksidasi. Oates (1997) menjelaskan salah satu faktor intrinsik yang mempengaruhi tercernanya pati yaitu daerah kristalin yang berada dalam granula pati. Peningkatan ini juga mengindikasikan kemudahan enzim untuk memecah pati dikarenakan pati termodifikasi sudah mengalami oksidasi dan depolimerisasi selama proses ozonasi.

Nilai K yang didapatkan baik pati pisang kapas alami maupun pati pisang kapas termodifikasi ozonasi 10 dan 20 siklus menunjukkan daya cerna yang dilakukan oleh enzim masih pada tahap awal atau *rapid phase*. Hasil ini sesuai dengan nilai K untuk *rapid phase* pada penelitian Butterworth *et al.* (2012) dengan konsentrasi enzim sebesar 4,5nM didapatkan nilai K untuk *rapid phase* pada pati gandum alami sebesar $0,049 \text{ min}^{-1}$ dan $0,041 \text{ min}^{-1}$ untuk pati kacang alami sedangkan nilai K untuk *slow phase* pada pati gandum alami sebesar $0,008 \text{ min}^{-1}$ dan $0,007 \text{ min}^{-1}$ untuk pati kacang alami.

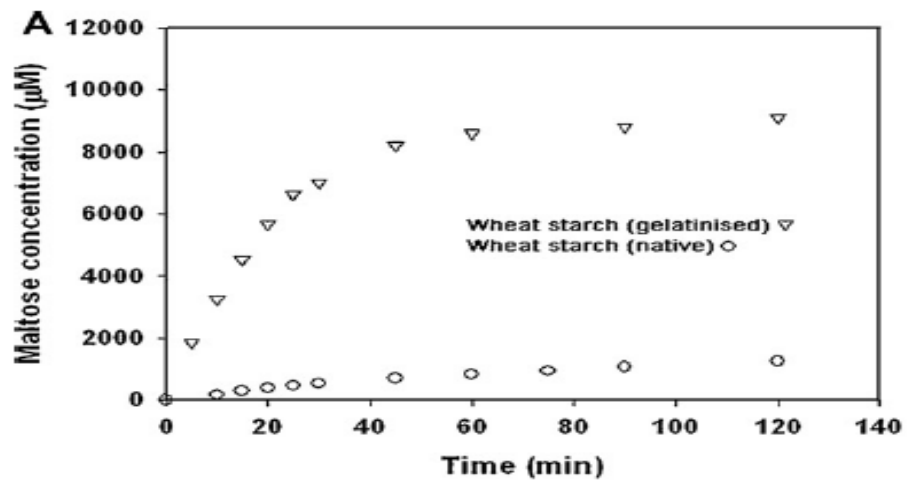
Namun, nilai K dan C_{∞} ini belum sesuai (Gambar 22, 24, dan 26) dengan penelitian Butterworth *et al.* (2012) yang menunjukkan adanya dua tahapan dalam proses daya cerna pati menggunakan LOS plot. Penelitian Butterworth *et al.* (2012) menjelaskan dalam proses daya cerna pati terdapat dua tahapan yakni tahap daya cerna awal dan tahap daya cerna akhir yang nantinya didapatkan dua nilai laju kinetika enzim dan jumlah pati yang terhidrolisis (Gambar 20). Tahap daya cerna awal menunjukkan *rapid phase* sedangkan tahap daya cerna akhir menunjukkan *slow phase*.

Perbedaan hasil penelitian ini dengan hasil penelitian Butterworth *et al.* (2012) dapat disebabkan oleh perbedaan jenis pati yang digunakan. Pati pisang

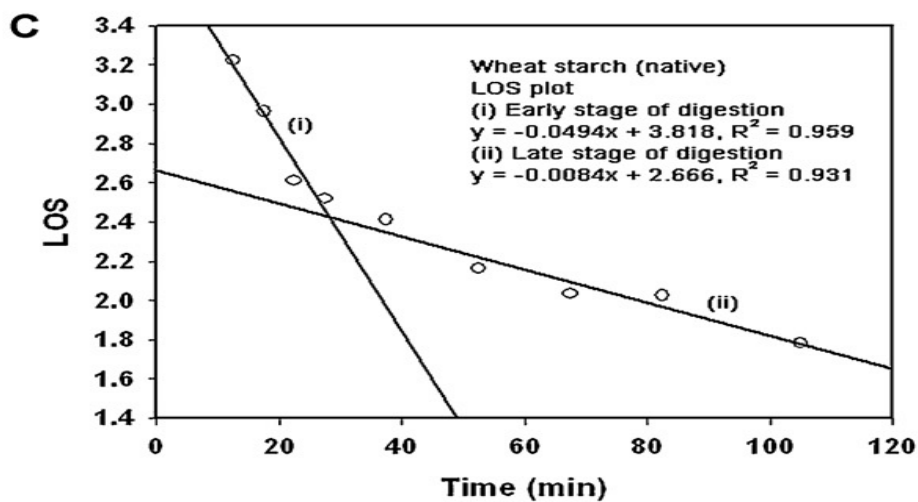
kapas memiliki kristal tipe B dimana menurut Gérard *et al.* (2001) pati jenis tipe B lebih resisten terhadap enzim sedangkan jenis tipe A seperti pati gandum mampu dicerna secara perlahan. Pati tipe A lebih rentan terhadap hidrolisis dibandingkan dengan tipe B (Zhang, Venkatacham, dan Hamaker, 2006). Pati tipe A dan tipe B memiliki perbedaan menurut Sarko dan Wu (1978) yaitu berbeda dalam rantai ganda dan kadar air. Selain itu, adanya kandungan selulosa mampu menghambat enzim α -amilase sehingga mempengaruhi nilai K dan C_{∞} yang dihasilkan. Menurut Dhital, Gidley, dan Warren (2015) adanya kandungan selulosa pada sampel mempengaruhi kecepatan hidrolisis pati oleh enzim α -amilase. Hasil penelitian Cahyana *et al.* (2018) menjelaskan kemungkinan adanya pengaruh selulosa yang berperan dalam daya cerna pati pada tepung pisang kapas baik alami maupun termodifikasi fisik dimana menurut Kayisu, Hood, dan Vansoest (1981) kandungan selulosa pada tepung pisang sebesar 1,42%.

Kandungan kimia lain seperti polifenol dan lignin juga mampu menjadi inhibitor enzim α -amilase. Menurut penelitian Peng *et al.* (2016) menunjukkan bahwa polifenol secara non-kompetitif dapat menghambat aktivitas enzim *pancreatic* α -amilase sedangkan adanya lignin menurut Moore dan Jung (2001) dapat mengganggu daya cerna pada dinding polisakarida karena berperan sebagai penghalang sehingga enzim akan sulit masuk ke dalam dinding sel. Menurut Moongngarm *et al.* (2014) tentang kandungan kimia tepung pisang yang dipanen setelah 75 dan 90 hari penanaman memiliki kandungan polifenol sebesar 3,48 mgGAEg⁻¹ dan 3,23 mgGAEg⁻¹ sedangkan menurut Kayisu, Hood, dan Vansoest (1981) kandungan lignin pada tepung pisang belum matang sebesar 0,14%.

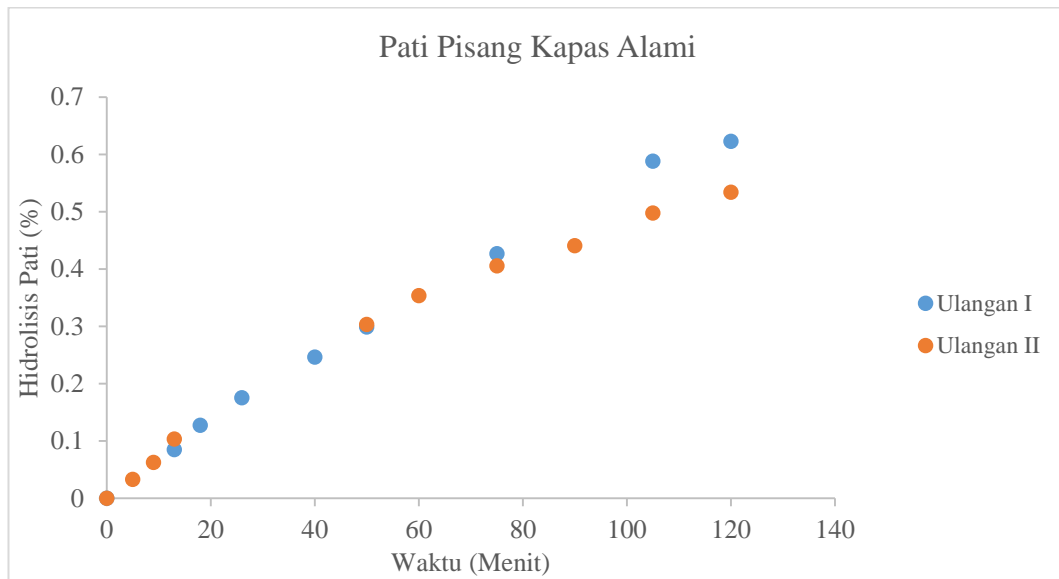
Faktor lain yang dapat mempengaruhi hasil daya cerna pati pada penelitian ini adalah kurangnya konsentrasi enzim dan kurang lamanya waktu inkubasi. Konsentrasi enzim yang terlalu rendah menyebabkan kurang mampunya enzim untuk memutus ikatan α -(1,4) glikosidik sedangkan kurangnya waktu inkubasi dapat menyebabkan kurang maksimalnya enzim untuk beraktivitas.



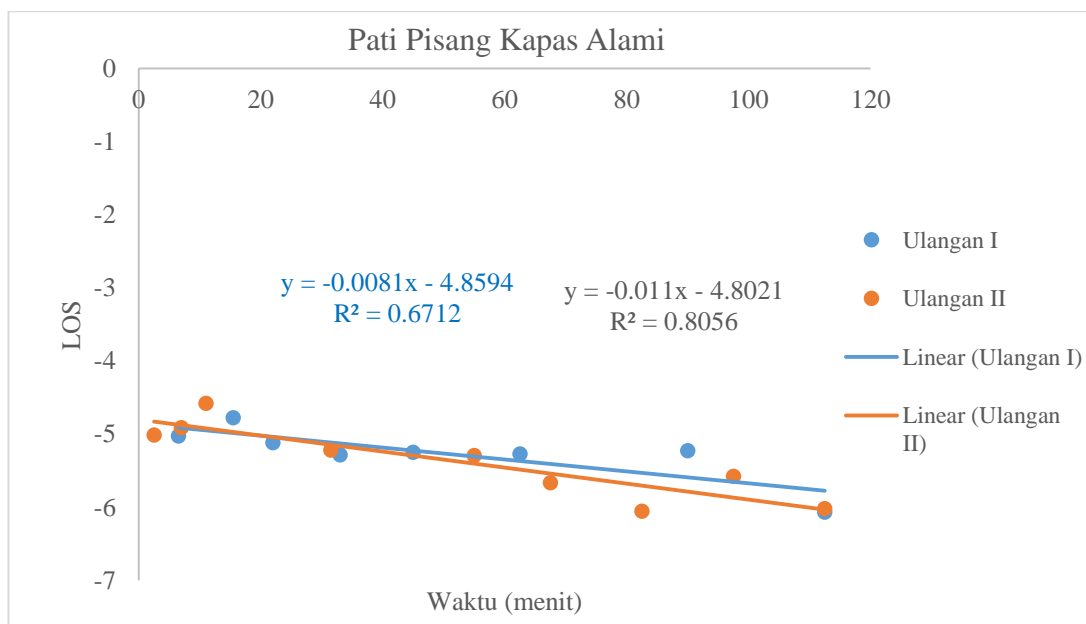
Gambar 19. Grafik Daya Cerna Pati Gandum Alami dan Tergelatinisasi
(Sumber: Butterworth *et al.*, 2012)



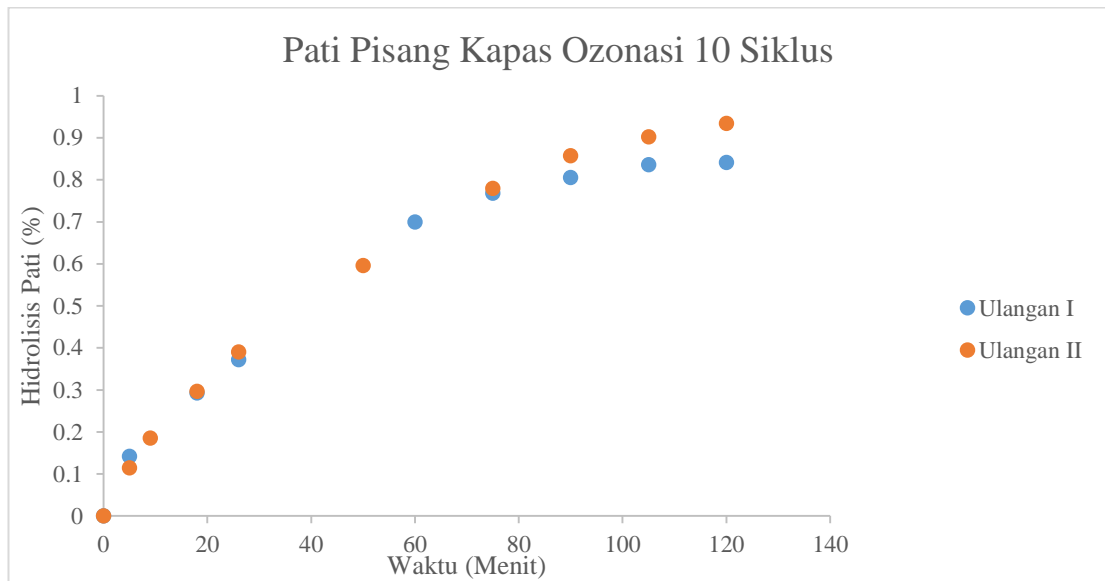
Gambar 20. Grafik Daya Cerna Pati Menggunakan LOS Plot
(Sumber: Butterworth *et al.*, 2012)



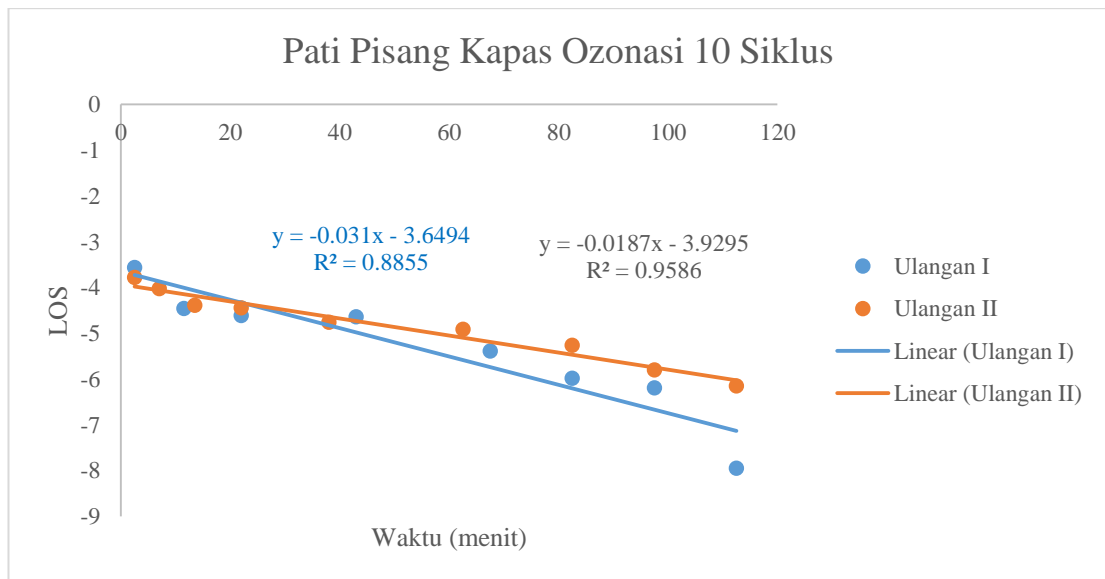
Gambar 21. Grafik Hidrolisis Pati Pisang Kapas Alami



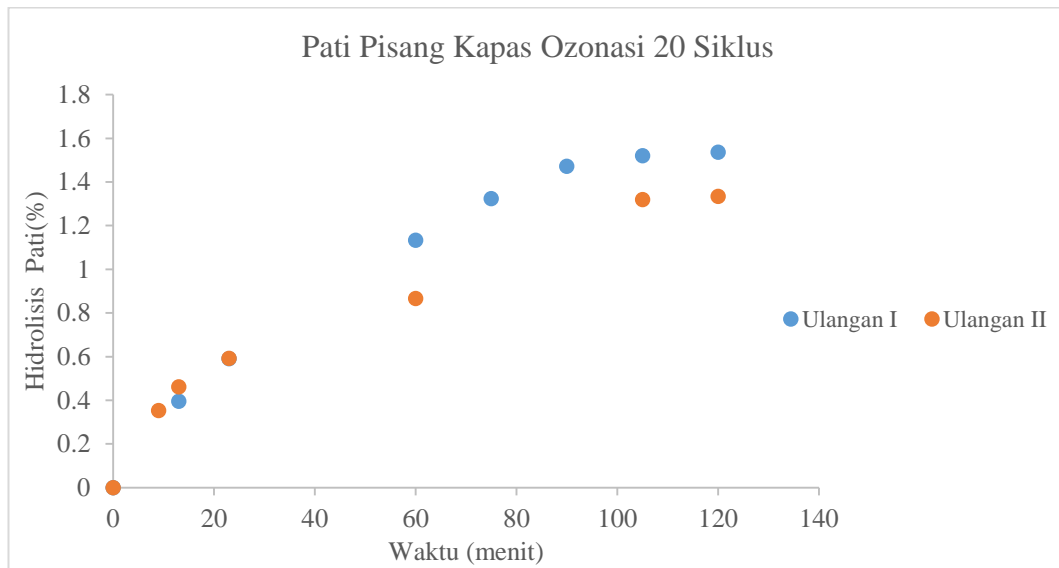
Gambar 22. Grafik Daya Cerna Pati Pisang Kapas Alami



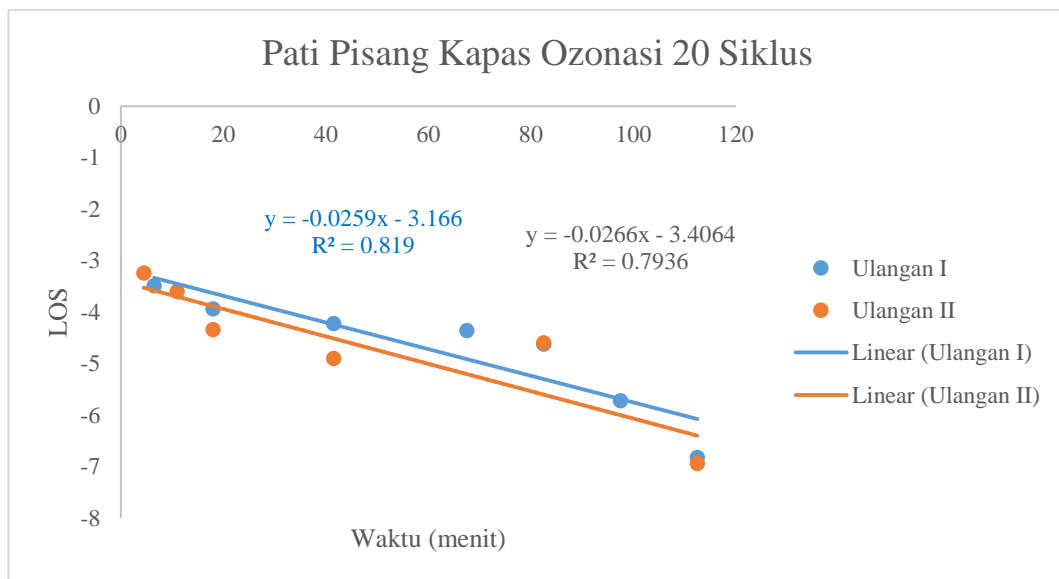
Gambar 23. Grafik Hdirolisis Pati Pisang Kapas Termodifikasi Ozonasi 10 Siklus



Gambar 24. Grafik Daya Cerna Pati Pisang Kapas Termodifikasi Ozonasi 10 Siklus



Gambar 25. Grafik Hdirolisis Pati Pisang Kapas Termodifikasi Ozonasi 20 Siklus



Gambar 26. Grafik Daya Cerna Pati Pisang Kapas Termodifikasi Ozonasi 20 Siklus

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Modifikasi oksidasi pati pisang kapas menggunakan ozonasi mampu mengubah kandungan gugus karboksil, sifat termal, derajat kristalinitas, dan daya cerna pati dibandingkan dari bahan alaminya. Ozonasi dengan 10 siklus sudah mampu meningkatkan gugus karboksil, mengubah sifat termal, menurunkan derajat kristalinitas, dan mampu meningkatkan daya cerna pati oleh enzim α -amilase. Namun, ozonasi dengan 10 siklus belum mampu menurunkan semua parameter suhu gelatinisasi dimana ozonasi dengan 10 siklus hanya mampu menurunkan *onset temperature* (T_o) dan *peak temperature* (T_p) serta melebarkan *range temperature* (ΔT). Proses ozonasi 10 siklus maupun 20 siklus tidak mampu mengubah tipe kristalin pati.

6.2 Saran

- a) Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap kandungan amilosa-amilopektin, selulosa, lignin, dan polifenol dalam pati pisang kapas alami dan hasil modifikasi oksidasi
- b) Perlu dilakukan penambahan konsentrasi enzim α -amilase dan rentang waktu inkubasi sehingga terbentuk dua fasa dalam data daya cerna pati.