

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tahap Pendahuluan

4.1.1 Persiapan Bahan Baku

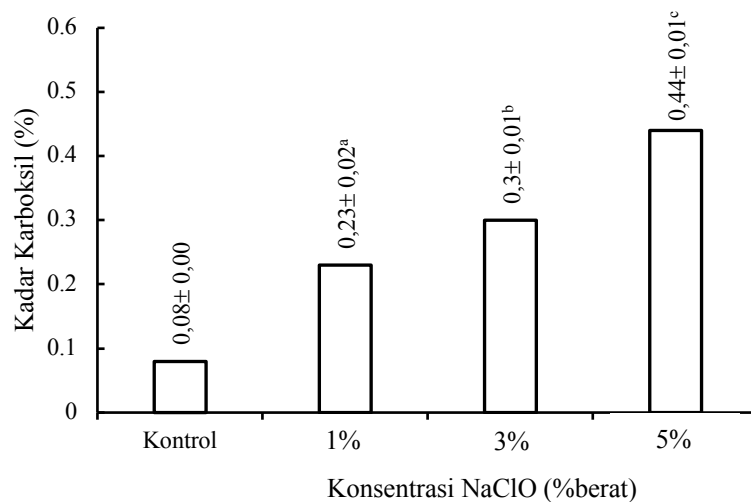
Kentang hitam adalah bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini. Kentang hitam diisolasi terlebih dahulu untuk diambil patinya dan digunakan untuk penelitian, yaitu untuk dilakukan modifikasi pati kentang hitam dengan oksidasi. Pati kentang hitam yang belum dimodifikasi adalah kontrol untuk analisis penelitian tahap satu, dua, dan analisis lanjut.

4.2 Penelitian Tahap I

Penelitian tahap satu dilakukan untuk mengetahui konsentrasi terbaik NaClO untuk proses oksidasi modifikasi pati. Oksidasi pati adalah modifikasi pati yang mengubah kelompok hidroksil menjadi gugus karbonil dan gugus karboksil. *Oxidizing agent* yang digunakan adalah NaClO (natrium hipoklorit) yang juga sering digunakan untuk oksidasi (Wojeicchowski *et al.*, 2018).

4.2.1 Pengaruh Konsentrasi NaClO terhadap Kadar Karboksil

Hasil analisis kadar karboksil berdasarkan perlakuan modifikasi pati kentang hitam secara oksidasi dengan menggunakan konsentrasi NaClO yang berbeda dapat dilihat pada Lampiran A. Berdasarkan hasil analisis statistik perbedaan konsentrasi NaClO berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap kadar karboksil.



Gambar 4.1 Grafik Konsentrasi NaClO terhadap Kadar Karboksil
Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan beda nyata pada $p < 0,05$

Proses oksidasi akan mengoksidasi struktur amilosa dan amilopektin yang menghasilkan kelompok hidroksil. Depolimerisasi amilosa dan amilopektin dipengaruhi oleh derajat oksidasi yang terjadi. Karboksil yang dihasilkan dari proses oksidasi akan mempengaruhi karakteristik pati yang dimodifikasi seperti viskositas dan warna dari pati (Vanier *et al.*, 2017).

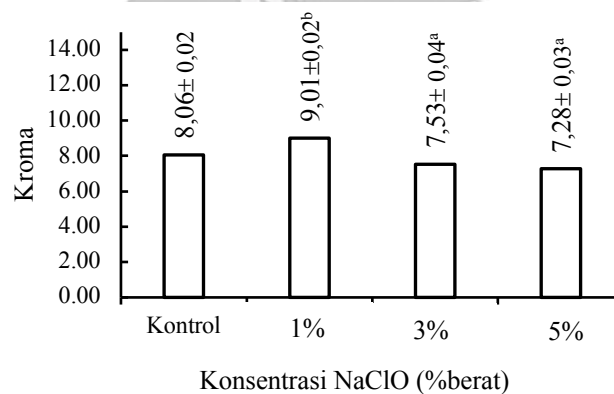
Berdasarkan pada Gambar 4.1 dan hasil uji lanjut pada Lampiran A dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi NaClO yang digunakan maka menghasilkan kadar karboksil yang tinggi, yaitu pada konsentrasi 5% NaClO dengan nilai kadar karboksil 0,44% dengan konsentrasi 1% NaClO nilai terendah 0,23%. Gugus karboksil yang dihasilkan dari proses oksidasi diakibatkan antara interaksi pati dengan *oxidizing agent* yang mengubah kelompok hidroksil pada C2, C3 dan C6 menjadi kelompok gugus karboksil (Hung *et al.*, 2017). Sehingga, meningkatnya kadar karboksil diakibatkan adanya proses oksidasi kelompok gugus hidroksil pada pati. Peningkatan nilai kadar karboksil seiring dengan meningkatnya

konsentrasi NaClO sesuai dengan Kaur dan Bhullar (2016). Hal ini juga sesuai dengan Halal *et al.*, (2015) yang menyatakan bahwa gugus karboksil yang dihasilkan akan meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi NaClO dibandingkan dengan gugus karbonil.

Menurut Hung *et al.*, (2016), yang menentukan jumlah kadar karboksil hasil dari proses oksidasi bukan hanya dari variasi konsentrasi *oxidizing agent*. Sumber pati, tipe dari *oxidizing agent*, pH reaksi, waktu reaksi, dan suhu dari reaksi juga menentukan jumlah dari kadar karboksil yang dihasilkan.

4.2.2 Pengaruh Konsentrasi NaClO terhadap Analisis Warna

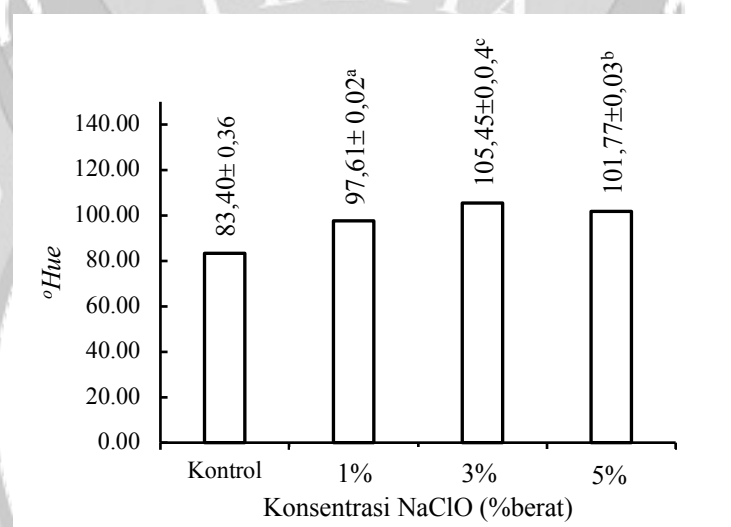
Hasil analisis kroma berdasarkan perlakuan modifikasi pati kentang hitam dengan menggunakan konsentrasi NaClO yang berbeda dapat dilihat pada Lampiran B. Berdasarkan hasil analisis statistik perbedaan konsentrasi NaClO berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap kroma.



Gambar 4.2 Grafik Konsentrasi NaClO terhadap Kroma
Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan beda nyata pada $p < 0,05$

Berdasarkan Gambar 4.2 menunjukkan bahwa konsentrasi 1% NaClO memiliki kroma lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol paling tinggi diantara konsentrasi lain. Hasil uji lanjut pada Lampiran B, menunjukkan bahwa konsentrasi

1% merupakan kroma tertinggi dibandingkan dengan konsentrasi lainnya yaitu 9,01 dan berbeda nyata dengan konsentrasi lainnya. Menurut Lewallen dan Marini (2003) menyatakan bahwa kroma adalah untuk menentukan intensitas dari warna, sehingga warna pada konsentrasi 1% NaClO memiliki intensitas yang tinggi dibandingkan dengan yang konsentrasi lain. Oleh karena itu, adanya pengaruh konsentrasi NaClO yang digunakan terhadap kroma hasil modifikasi pati.

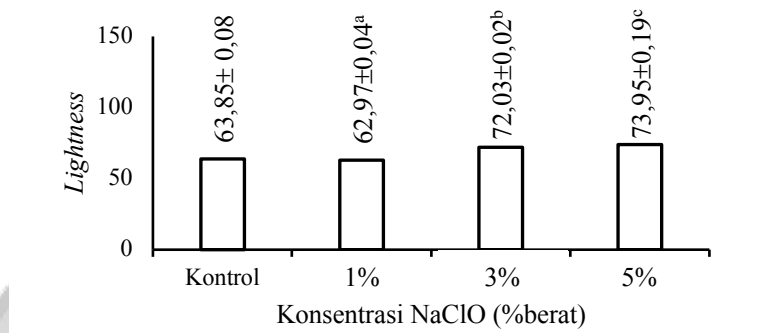


Gambar 4.3 Grafik Konsentrasi NaClO terhadap °Hue
Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan beda nyata pada $p < 0,05$

Hasil analisis °hue berdasarkan perlakuan modifikasi pati kentang hitam dengan menggunakan konsentrasi NaClO yang berbeda dapat dilihat pada Lampiran C. Berdasarkan hasil analisis statistik perbedaan konsentrasi NaClO berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap °hue.

Berdasarkan Gambar 4.3 pada konsentrasi 3% NaClO memiliki °hue yang paling tinggi dibandingkan dengan konsentrasi lainnya. Hasil uji lanjut menunjukkan bahwa ada perbedaan nyata diantara ketiga konsentrasi dengan °hue tertinggi pada konsentrasi 3% NaClO yaitu 105,45. Menurut Lewallen dan Marini (2003) mengatakan bahwa °Hue menunjukkan perbedaan dari setiap warna.

Menurut sistem warna Mussel, rentang $^{\circ}$ Hue pada konsentrasi 1, 3, dan 5% NaClO adalah sama yaitu berwarna kuning. Warna kuning yang muncul dapat dikarenakan oleh gugus karbonil yang terbentuk (Sangseethong dan Sriroth, 2009).

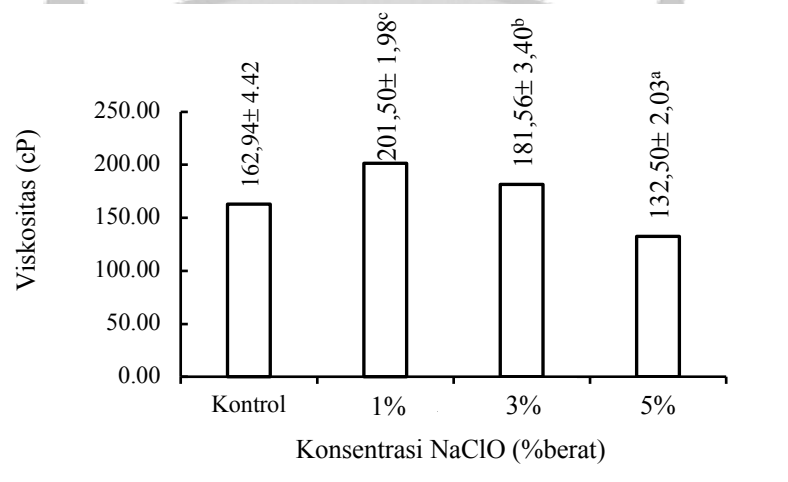


Gambar 4.4 Grafik Konsentrasi NaClO terhadap *Lightness*
Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan beda nyata pada $p < 0,05$

Hasil analisis *lightness* berdasarkan perlakuan modifikasi pati kentang hitam dengan menggunakan konsentrasi NaClO yang berbeda dapat dilihat pada Lampiran D. Berdasarkan hasil analisis statistik perbedaan konsentrasi NaClO berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap *lightness*. *Lightness* berdasarkan Gambar 4.4 menunjukkan bahwa adanya peningkatan seiring dengan meningkatnya konsentrasi. Hasil uji lanjut pada Lampiran D juga menunjukkan bahwa adanya perbedaan nyata dari ketiga konsentrasi dengan konsentrasi 5% memiliki *lightness* paling tinggi yaitu 73,95. Menurut Lewallen dan Marini (2003) mengatakan bahwa *lightness* menunjukkan ukuran untuk kecerahan dari warna. Pada konsentrasi 5% NaClO memiliki *lightness* yang tertinggi dikarenakan pada proses oksidasi menggunakan natrium hipoklorit sebagai *oxidizing agent* akan meningkatkan nilai warna putih pada pati. Hal ini sesuai dengan Vanier *et al.*, (2012) yang menyatakan bahwa seiring meningkatnya konsentrasi *oxidizing agent* maka akan mendapatkan warna pati yang lebih cerah.

4.2.3 Pengaruh Konsentrasi NaClO terhadap Viskositas

Hasil analisis nilai viskositas berdasarkan perlakuan modifikasi pati kentang hitam dengan menggunakan konsentrasi NaClO yang berbeda dapat dilihat pada Lampiran E. Berdasarkan hasil analisis statistik perbedaan konsentrasi NaClO berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap nilai viskositas.



Gambar 4.5 Grafik Konsentrasi NaClO terhadap Nilai Viskositas
Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan beda nyata pada $p < 0,05$

Berdasarkan pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa viskositas pada konsentrasi NaClO 1% lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol dan konsentrasi lain. Hasil uji lanjut pengaruh konsentrasi NaClO pada Lampiran E menunjukkan bahwa viskositas pada ketiga konsentrasi berbeda nyata dengan viskositas tertinggi adalah pada konsentrasi 1% NaClO yaitu 201,5 cP. Penurunan viskositas seiring meningkatnya konsentrasi NaClO dapat terjadi karena terbentuknya gugus kelompok karboksil yang dapat meningkatkan jarak antara rantai amilosa yang akan menghambat retrogradasi (Fonseca *et al.*, 2015). Dias *et al.*, (2011) menyatakan bahwa oksidasi juga dapat menyebabkan depolimerisasi molekul amilosa dan amilopektin pada pati yang dapat menurunkan nilai viskositas.

Menurut Vanier *et al.*, (2017) menyatakan bahwa penurunan viskositas juga dapat dipengaruhi oleh ikatan struktur pada pati yang melemah dikarenakan meningkatnya jumlah kelompok gugus karbonil dan kelompok gugus karboksil yang terbentuk, struktur pati yang rentan akan gesekan, dan temperatur yang meningkat. Faktor tersebut juga didukung oleh Catan dan Ibanoglu (2014) yang menyatakan bahwa sifat karakteristik pati yang teroksidasi memiliki granula pati yang rentan akan gesekan, tidak dapat mempertahankan integritas dari struktur granula pati, dan memiliki viskositas yang rendah. Integritas yang lemah dari struktur granula pati dapat mempengaruhi karakteristik lain dari pati, yaitu meningkatnya nilai *swelling power* yang dapat merusak granula pati sehingga mempengaruhi berat molekul dari pati. Oleh karena itu, adanya pengaruh antara konsentrasi NaClO terhadap nilai viskositas.

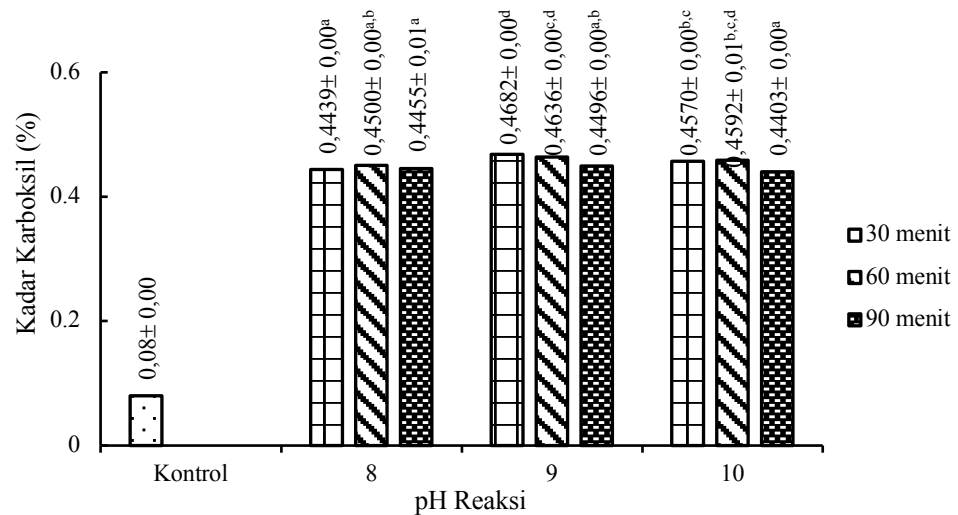
4.3 Penelitian Tahap II

Proses oksidasi pada pati tidak hanya dipengaruhi oleh *oxidizing agent*, namun proses oksidasi juga dipengaruhi oleh waktu reaksi, pH reaksi, dan juga suhu reaksi proses oksidasi (Wang dan Wang, 2003). Pada penelitian tahap kedua, proses oksidasi akan dipengaruhi oleh waktu dan pH reaksi dengan menggunakan konsentrasi NaClO terbaik dari penelitian tahap satu.

4.3.1 Pengaruh Waktu dan pH Reaksi terhadap Kadar Karboksil

Hasil analisis kadar karboksil berdasarkan perlakuan modifikasi pati kentang hitam dengan waktu reaksi dan pH reaksi yang berbeda dapat dilihat pada

Lampiran F. Berdasarkan hasil analisis statistik perbedaan waktu reaksi, pH reaksi, dan interaksi keduanya berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap nilai kadar karboksil.



Gambar 4.6 Grafik Waktu dan pH Reaksi terhadap Kadar Karboksil
Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan beda nyata pada $p < 0,05$

Hasil uji lanjut yang dapat dilihat pada Lampiran F juga menunjukkan bahwa nilai kadar karboksil tertinggi pada interaksi waktu reaksi 30 menit dan pada kondisi pH 9 yaitu 0,4682%. Berdasarkan Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa kadar karboksil pada pH 9 memiliki nilai karboksil yang paling tinggi namun tidak berbeda nyata dengan pH 9 dan 10 waktu reaksi 60 menit pada ($p > 0,05$). Proses oksidasi pada kondisi pH yang basa membentuk kelompok gugus karboksil dengan cepat. Menurut Wang dan Wang (2003), yang menyatakan bahwa proses oksidasi pada kondisi pH basa, akan menghasilkan kelompok gugus karboksil yang lebih tinggi dibandingkan dengan proses oksidasi yang dilakukan pada kondisi asam.

Kadar karboksil menunjukkan penurunan pada pH 10 dibandingkan dengan pH 8 dan pH 9, hal ini sesuai dengan Spief *et al.*, (2013) yang mengatakan bahwa

semakin tinggi pH maka kelompok gugus karboksil yang terbentuk akan berkurang dikarenakan kecepatan pembentukan gugus karboksil mulai menurun. Didukung oleh Vanier *et al.*, (2017) bahwa pembentukan karboksil juga dipengaruhi oleh kecepatan reaksi saat proses oksidasi berjalan. Pada nilai pH yang mendekati netral maka akan menghasilkan kecepatan reaksi yang lebih cepat dalam pembentukan kelompok gugus karboksil dibandingkan pada pH 10. Oleh karena itu, proses oksidasi dalam kondisi pH yang mendekati netral akan menghasilkan kelompok gugus karboksil dan karbonil dalam jumlah yang lebih tinggi dibandingkan dalam kondisi pH 10. Depolimerisasi struktur amilosa dan amilopektin juga lebih memungkinkan pada kondisi pH basa.

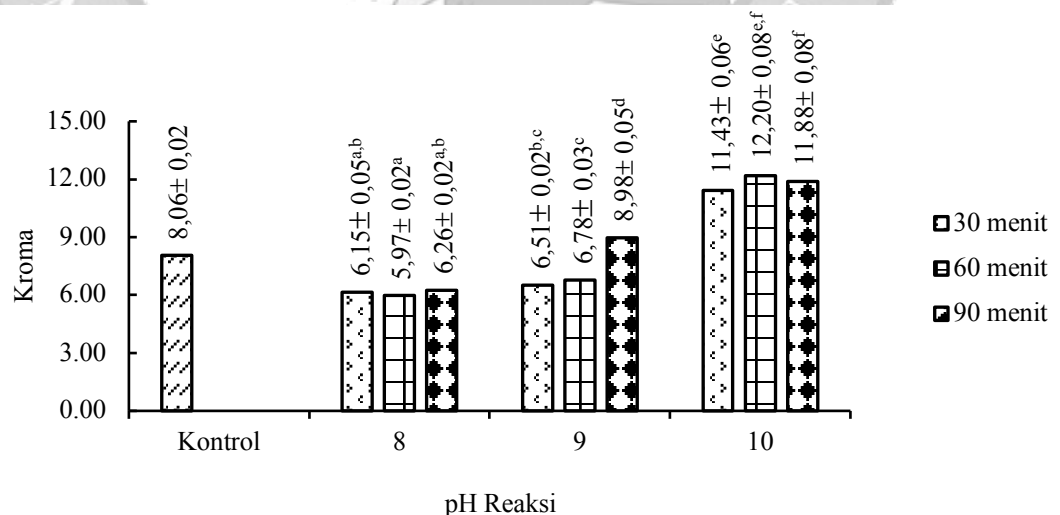
Berdasarkan Gambar 4.6 waktu reaksi 30 menit dengan 60 menit menghasilkan kadar karboksil yang tidak jauh berbeda, sedangkan pada waktu reaksi 90 menit menghasilkan kadar karboksil yang menurun. Hal ini sesuai dengan Sangseethong dan Sriroth (2009) yang mengatakan bahwa dalam kurun waktu reaksi yang berbeda akan menghasilkan nilai kadar karboksil yang hampir mirip, sehingga semakin lama waktu reaksi maka nilai kadar karboksil tidak berbeda terlalu tinggi.

Kadar karboksil tertinggi dihasilkan pada waktu reaksi 30 menit dan pH reaksi 9. Interaksi tersebut sesuai dengan penelitian Sangseethong dan Sriroth (2009) yang menyatakan bahwa kecepatan pembentukan kadar karboksil dipengaruhi oleh adanya interaksi waktu reaksi dengan pH reaksi. pH reaksi yang mendekati netral memiliki kecepatan yang lebih tinggi dalam pembentukan kadar karboksil dibandingkan dengan kondisi yang lebih asam atau lebih basa. Namun,

pada pH basa maka akan menghasilkan kadar karboksil yang lebih tinggi dibandingkan dengan pH netral, sedangkan pada pH asam akan menghasilkan kadar karbonil yang lebih tinggi dibandingkan dengan pH netral. Oleh karena itu, waktu reaksi singkat pada pH basa cukup untuk dapat menghasilkan jumlah kadar karboksil yang cukup tinggi. Sesuai dengan Berski *et al.*, (2011) yang menyatakan bahwa kondisi pH basa akan menghasilkan nilai kadar karboksil yang lebih tinggi.

4.3.2 Pengaruh Waktu dan pH Reaksi terhadap Analisis Warna

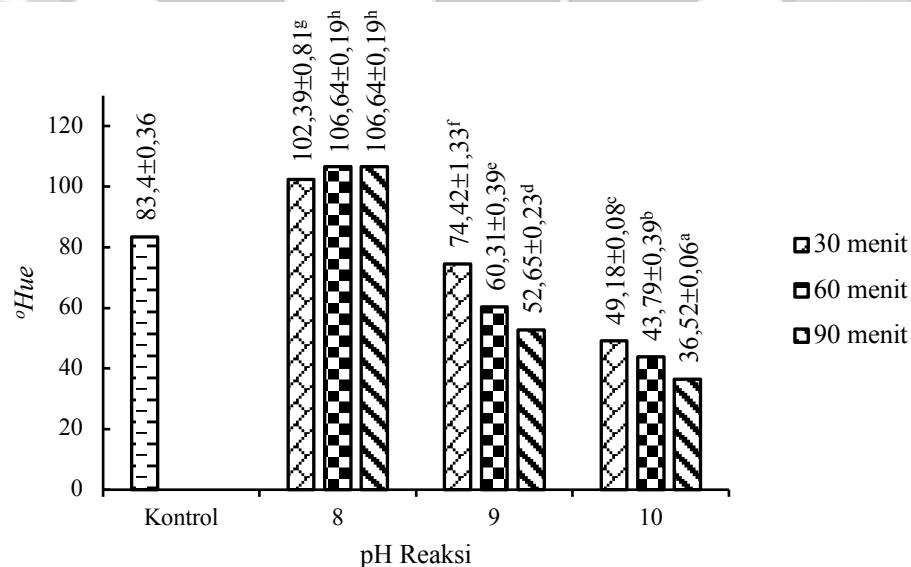
Hasil analisis kroma berdasarkan perlakuan modifikasi pati kentang hitam dengan waktu reaksi dan pH reaksi yang berbeda dapat dilihat pada Lampiran G. Berdasarkan hasil analisis statistik perbedaan waktu reaksi, pH reaksi, dan interaksi keduanya berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap nilai kroma. Menurut Lewallen dan Marini (2003) mengatakan bahwa kroma adalah untuk menentukan intensitas dari warna.



Gambar 4.7 Grafik Waktu dan pH Reaksi terhadap Nilai Kroma
Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan beda nyata pada $\alpha < 0,05$

Hasil uji lanjut pada Lampiran G, interaksi antara waktu reaksi 60 menit dengan pH reaksi 10 menghasilkan intensitas warna yang paling tinggi yaitu 12,20, namun tidak berbeda nyata dengan pH 10 pada waktu reaksi 90 menit pada ($p>0,05$). Berdasarkan Gambar 4.7 menunjukkan bahwa semakin basa kondisi pH reaksi maka akan semakin meningkat intensitas dari warna pati, sedangkan waktu reaksi menghasilkan intensitas yang tidak jauh berbeda.

Hasil analisis $^{\circ}hue$ berdasarkan perlakuan modifikasi pati kentang hitam dengan waktu reaksi dan pH reaksi yang berbeda dapat dilihat pada Lampiran H. Berdasarkan hasil analisis statistik perbedaan waktu reaksi, pH reaksi, dan interaksi keduanya berpengaruh nyata ($p<0,05$) terhadap $^{\circ}hue$.



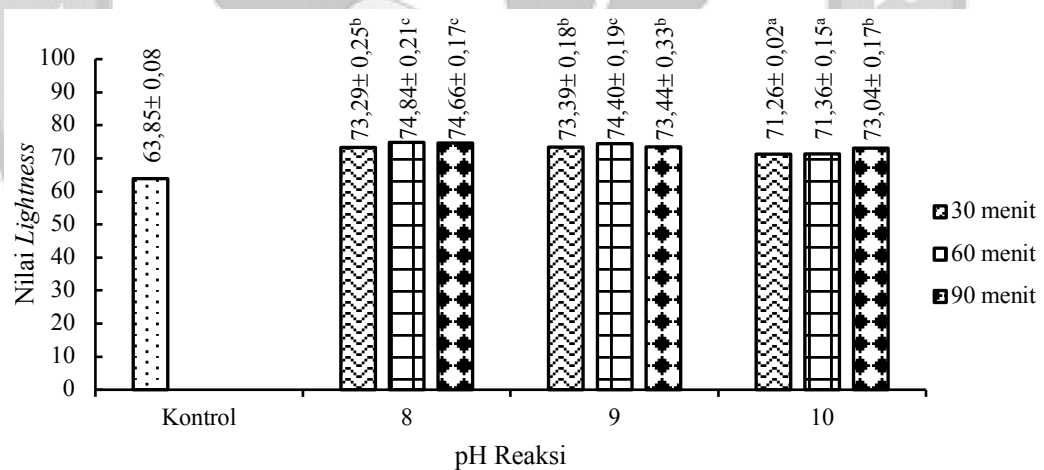
Gambar 4.8 Grafik Waktu dan pH Reaksi terhadap Nilai $^{\circ}Hue$

Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan beda nyata pada $p<0,05$

Hasil uji lanjut interaksi antara waktu reaksi 60 menit dan 90 menit dengan pH 8 pada Lampiran H menunjukkan $^{\circ}hue$ tertinggi yaitu 106,64. Menurut Lewallen dan Marini (2003) mengatakan bahwa nilai $^{\circ}hue$ menunjukkan perbedaan

dari setiap warna. $^{\circ}Hue$ berdasarkan pada Gambar 4.8 menunjukkan semakin meningkatnya waktu reaksi pada kondisi pH 9 dan 10 maka $^{\circ}hue$ semakin rendah, namun hal tersebut tidak ditemukan pada nilai pH 8. $^{\circ}Hue$ pada pH 8 dalam ketiga waktu reaksi yang berbeda menghasilkan $^{\circ}hue$ dalam rentang $90^{\circ} - 126^{\circ}$ yaitu berwarna kuning pada sistem warna Munsell. Proses oksidasi pati menghasilkan warna kekuningan. Warna kuning dapat muncul dikarenakan proses oksidasi membentuk kelompok aldehid (Tethool, *et al.*, 2012).

Hasil analisis nilai *lightness* berdasarkan perlakuan modifikasi pati kentang hitam dengan waktu reaksi dan pH reaksi yang berbeda dapat dilihat pada Lampiran I. Berdasarkan hasil analisis statistik perbedaan waktu reaksi, pH reaksi, dan interaksi keduanya berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap nilai *lightness*.



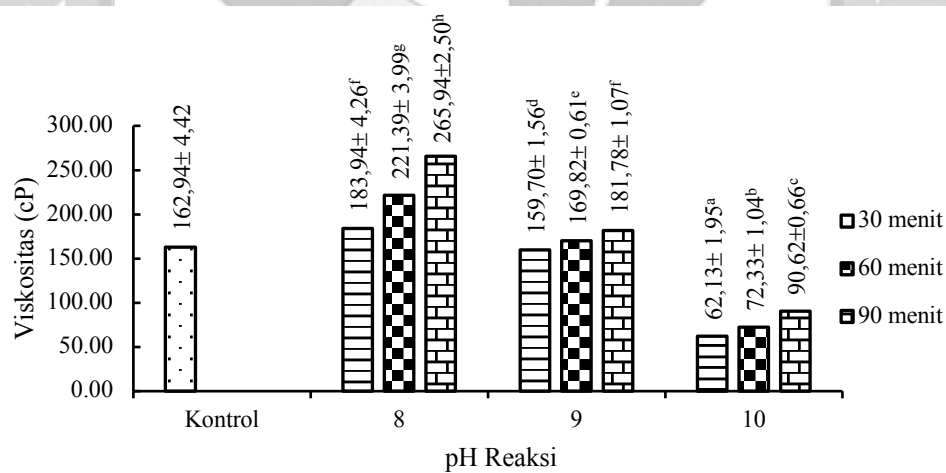
Gambar 4.9 Grafik Waktu dan pH Reaksi terhadap Nilai *Lightness*
 Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan beda nyata pada $p < 0,05$

Lightness pada Gambar 4.9 menunjukkan bahwa pH reaksi 8 dengan waktu reaksi 60 menit memiliki nilai *lightness* tertinggi namun tidak berbeda nyata dengan pH 8 waktu reaksi 90 menit dan pH 9 waktu reaksi 60 menit pada ($p > 0,05$). Menurut Lewallen dan Marini (2003) mengatakan bahwa *lightness* menunjukkan ukuran

untuk kecerahan dari warna. Vanier *et al.*, (2012) yang mengatakan bahwa semakin lama waktu reaksi proses oksidasi maka semakin berwarna putih, hal ini dikarenakan senyawa lain seperti protein teroksidasi terlebih dahulu dibandingkan glukosa. Oleh karena itu, perubahan struktur tersebut akan menciptakan warna putih yang lebih cerah.

4.3.3 Pengaruh Waktu dan pH Reaksi terhadap Viskositas

Hasil analisis nilai viskositas berdasarkan perlakuan modifikasi pati kentang hitam dengan waktu reaksi dan pH reaksi yang berbeda dapat dilihat pada Lampiran J. Berdasarkan hasil analisis statistik perbedaan waktu reaksi, pH reaksi, dan interaksi keduanya berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap nilai viskositas.



Gambar 4.10 Grafik Waktu dan pH Reaksi terhadap Nilai Viskositas
Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan beda nyata pada $p < 0,05$

Hasil uji lanjut interaksi antara waktu reaksi 90 menit dengan pH reaksi 8 pada Lampiran J menghasilkan nilai viskositas tertinggi yaitu 265,94 cP. Pada Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa pengaruh pH dan waktu reaksi terhadap viskositas menghasilkan nilai viskositas yang berbeda nyata. Proses oksidasi pada pH reaksi

8 menghasilkan viskositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan pH reaksi lainnya. Waktu reaksi 90 menit juga menghasilkan viskositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan waktu reaksi lainnya.

Spier *et al.*, (2013) menyatakan bahwa pada pH reaksi 8 menghasilkan kelompok gugus karboksil yang belum tinggi sehingga menghasilkan viskositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan pH lain. Menurut Sangseethong *et al.*, (2009) pH yang lebih rendah akan menghasilkan struktur lebih labil yang sensitif akan degradasi, sehingga viskositas tidak stabil dan dapat menurun seiring waktu. Selain itu, semakin tinggi hasil produksi kelompok gugus karboksil dalam keadaan pH lebih basa dan waktu reaksi yang lebih lama maka viskositas semakin menurun dan dapat menjadi stabil (Fonseca *et al.*, 2015).

Hal lain yang mendukung penurunan viskositas pada interaksi waktu reaksi dan juga pH reaksi adalah meningkatnya waktu serta kondisi basa yang berinteraksi dengan oksidasi maka akan memotong ikatan glikosidik yang menghasilkan penurunan pada berat molekul (Sangseethong *et al.*, 2009). Penurunan berat molekul akan membentuk sifat granula rentan terhadap gesekan. Didukung oleh pernyataan Dias *et al.* (2011), proses oksidasi akan meningkatkan depolimerisasi antara molekul amilosa dan amilopektin pada pati yang menyebabkan penurunan pada sifat viskositas dan retrodegradasi. Ukuran gugus karboksil dan karbonil yang lebih besar dibandingkan dengan hidroksil akan membentuk jarak antara amilosa dan akan mencegah retrodegradasi. Sehingga, semakin lama waktu reaksi proses oksidasi akan menghasilkan viskositas yang lebih stabil.

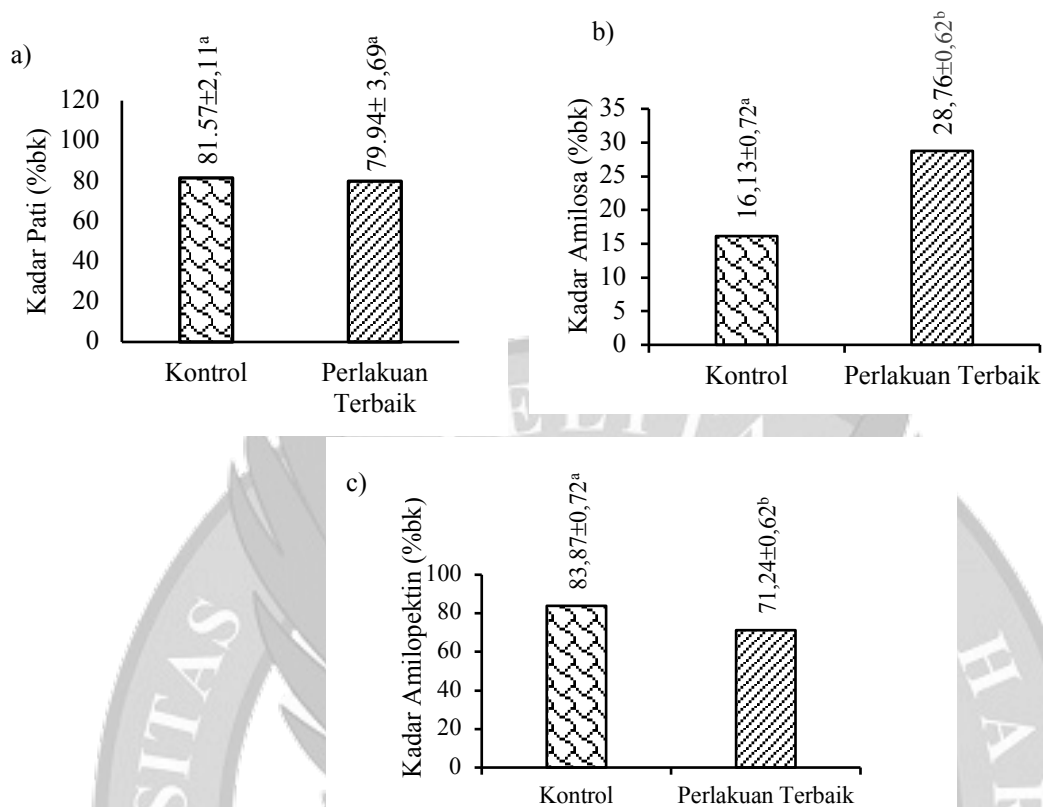
4.4 Uji Lanjut Perlakuan Terbaik

Uji lanjut yang dilakukan untuk perlakuan terbaik adalah menguji kadar total pati, amilosa dan amilopektin, nilai *swelling power* dan *solubility*, FTIR (*Fourier Transform Infrared*), pati resisten, dan analisis proksimat. Perlakuan terbaik yang didapatkan dari penelitian tahap sebelumnya adalah 5% konsentrasi NaClO dengan waktu reaksi 30 menit dan pH reaksi 9.

4.4.1 Kadar Total Pati, Amilosa, dan Amilopektin

Hasil analisis lanjut perlakuan terbaik pada kadar total pati dapat dilihat pada Lampiran K. Sertifikat hasil analisis kadar total pati yang dilakukan pada Laboratorium Analisis Chem-Mix Pratama dapat dilihat pada Lampiran P. Berdasarkan hasil analisis statistik perlakuan terbaik tidak berbeda nyata dengan kontrol ($p > 0,05$) terhadap kadar total pati.

Hasil analisis lanjut perlakuan terbaik pada kadar amilosa dan amilopektin dapat dilihat pada Lampiran K. Berdasarkan hasil analisis statistik perlakuan terbaik berbeda nyata dengan kontrol ($p < 0,05$) terhadap kadar amilosa dan kadar amilopektin.



Gambar 4.11 Grafik Perlakuan Terbaik terhadap ^{a)}Kadar Total Pati, ^{b)}Amilosa, dan ^{c)}Amilopektin
Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan beda nyata pada $p < 0,05$

Berdasarkan Gambar 4.11 kadar pati perlakuan terbaik mengalami penurunan dibandingkan kadar pati kontrol. Hasil analisis statistik pada Lampiran K menyatakan bahwa tidak adanya perbedaan signifikan antara kadar pati perlakuan terbaik dibandingkan dengan kontrol. Penurunan kadar pati pada perlakuan terbaik dapat dipengaruhi oleh kadar amilosa, dimana kadar amilosa yang tinggi menghasilkan jumlah kadar pati yang rendah dikarenakan adanya peningkatan jumlah gula yang bebas seperti glukosa dan fruktosa (Zhao *et al.*, 2018).

Menurut Pereira *et al.*, (2017) modifikasi pati dengan metode oksidasi tidak memberikan perubahan nyata terhadap jumlah amilosa dan jumlah amilopektin, sehingga depolimerisasi molekul amilosa dan amilopektin pati hasil proses oksidasi

cukup rendah. Hal ini tidak sesuai dengan hasil analisis yang didapatkan bahwa pada Gambar 4.11, kadar amilosa dan kadar amilopektin hasil modifikasi cukup jauh berbeda dibandingkan dengan kadar amilosa kontrol. Berdasarkan Gambar 4.11, kadar amilosa perlakuan terbaik meningkat dibandingkan dengan kontrol. Ketidaksiuaian dengan Pereira *et al.*, (2017) dapat dikarenakan depolimerisasi amilopektin pada konsentrasi 5% NaClO dapat meningkatkan kadar amilosa (Vanier *et al.*, 2012; Wojeicchowski *et al.*, 2018). Sesuai dengan Sanchez-Rivera *et al.*, (2005) kadar amilosa yang meningkat pada perlakuan terbaik dapat dikarenakan adanya depolimerisasi akibat proses oksidasi dengan konsentrasi tinggi yaitu 5%.

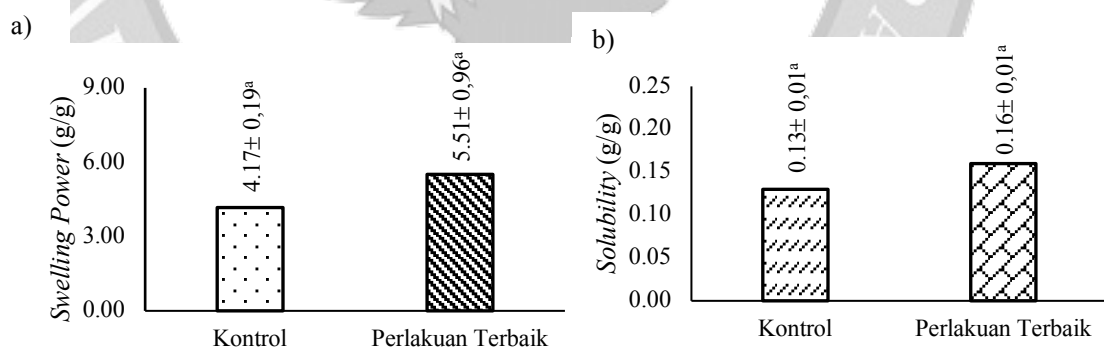
Berdasarkan Gambar 4.11 kadar amilopektin yang menurun daripada kontrol dapat dikarenakan meningkatnya berat molekul amilosa sehingga berat molekul amilopektin pada pati menurun (Simsek *et al.*, 2012). Depolimerisasi amilopektin dapat mempengaruhi penurunan kadar amilopektin dan proses pemanasan dapat menghidrolisis rantai amilopektin (Fonseca *et al.*, 2015).

Menurut Vanier *et al.*, (2017) proses oksidasi biasanya terjadi pada bagian berporus dari granula pati, sedangkan bagian yang memiliki struktur kristal atau kristalin lebih sulit untuk teroksidasi. Kadar amilosa yang tinggi dapat menyebabkan bagian dari kristalin granula pati lebih sulit lagi untuk teroksidasi. Kesulitan ini dikarenakan struktur amilosa pada granula pati yang belum terkristalisasi sempurna dengan amilopektin dapat mendekati struktur amilopektin yang satu dengan struktur amilopektin lainnya. Oleh karena itu, kadar amilosa yang tinggi dapat membatasi *oxidizing agent* untuk mengoksidasi bagian

dari struktur amilopektin yang berarti dapat mengurangi efisiensi dari proses oksidasi.

4.4.2 *Swelling Power* dan *Solubility*

Swelling power menunjukkan kapasitas air yang tertahan dari pembengkakan granula pati setelah pendinginan dan *solubility* adalah karakteristik pati yang menunjukkan jumlah persentasi molekul yang dapat keluar dari granula setelah terjadi pembengkakan (Pereira *et al.*, 2017). Menurut Tethool *et al.*, (2012) mengatakan bahwa nilai *solubility* juga mengindikasikan jumlah dari molekul pati yang dapat terlarut pada suhu tertentu. Hasil analisis lanjut perlakuan terbaik pada *swelling power* dapat dilihat pada Lampiran L. Berdasarkan hasil analisis statistik perlakuan terbaik tidak berbeda nyata dengan kontrol ($p > 0,05$) terhadap *swelling power*.



Gambar 4.12 Grafik Perlakuan Terbaik terhadap ^{a)}*Swelling Power* dan ^{b)}*Solubility*
Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan beda nyata pada $p < 0,05$

Berdasarkan Gambar 4.12 nilai *swelling power* pada hasil proses oksidasi lebih tinggi dibandingkan dengan nilai *swelling power* pada kontrol. Namun, hasil analisis tidak sesuai menurut Pereira *et al.*, (2017) dalam penelitiannya nilai *swelling power* yang didapatkan menurun akibat degradasi tidak sempurna dari

molekul kristalin lamela yang dapat mengurangi karakteristik granula untuk menahan air saat disentrifugasi. Secara umum, menurut Vanier *et al.*, (2017) hasil dari proses oksidasi dapat mengurangi nilai dari *swelling power* akibat dari disintegrasi struktur pati saat proses oksidas. Selain itu, kadar amilopektin berperan penting dalam mempertahankan kapasitas penyerapan air pada granula pati.

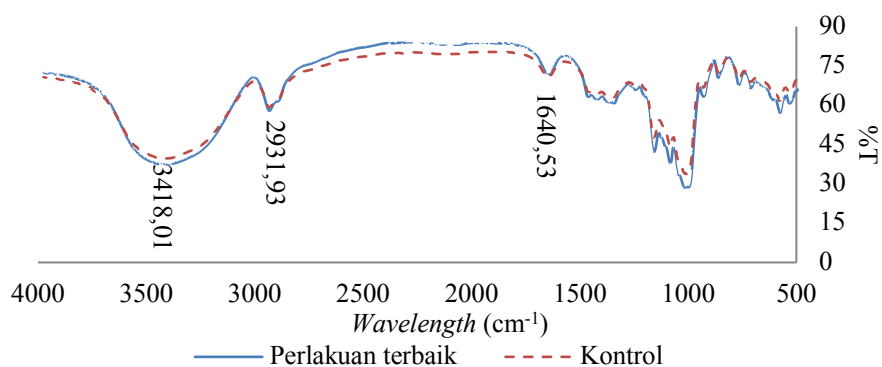
Meningkatnya nilai *swelling power* dari kentang hitam pada Gambar 4.12, karena oksidasi pati akan mengakibatkan granula pati mampu untuk menyerap air selama terjadi pemanasan dan struktur dari amilopektin akan mempertahankan air pada granula pati (Wang dan Wang, 2003). Selain itu, didukung oleh Vanier *et al.*, (2012) kadar amilopektin yang cukup tinggi dapat meningkatkan nilai *swelling power*, dikarenakan depolimerisasi struktur amilopektin akan meningkatkan karakteristik amilosa untuk dapat mempertahankan air dalam granula pati saat disentrifugasi. Sanchez-Rivera *et al.*, (2005) mengatakan bahwa kadar amilosa juga mempengaruhi nilai *swelling power*, yaitu pada saat proses pemanasan maka amilosa dari granula pati akan larut dan akan meningkatkan nilai *swelling power*. Nilai *swelling power* yang lebih rendah dapat bermanfaat untuk meningkatkan pati resisten dan memiliki karakteristik daya cerna yang lebih rendah (Zhou *et al.*, 2016)

Hasil analisis lanjut perlakuan terbaik pada *solubility* dapat dilihat pada Lampiran L. Berdasarkan hasil analisis statistik perlakuan terbaik tidak berbeda nyata dengan kontrol ($p > 0,05$) terhadap *solubility*. Menurut Fonseca *et al.*, (2015) nilai *solubility* pada modifikasi pati secara oksidasi tidak menghasilkan perubahan dan umumnya bernilai tetap. Namun, nilai *solubility* hasil analisis tidak sesuai dengan Fonseca *et al.*, (2015).

Nilai *solubility* pada perlakuan terbaik meningkat dibandingkan dengan nilai *solubility* pada kontrol. Peningkatan tersebut dapat terjadi dikarenakan modifikasi secara oksidasi akan menghasilkan kelompok gugus fungsional yang bersifat hidrofilik, terutama pada kelompok gugus karboksil. Proses oksidasi juga mengakibatkan menurunnya berat molekul yang akan meningkatkan solubilitas dari pati (Hung *et al.*, 2016). Menurut Wojeicchowski *et al.*, (2018) nilai *solubility* juga dapat meningkat saat dilakukan pemanasan akan mengakibatkan depolimerisasi dan dapat meningkatkan solubilitas dari granula pati. Kondisi reaksi saat oksidasi juga dapat menentukan peningkatan dari nilai *solubility*. Didukung oleh Berski *et al.*, (2011) yang menyatakan bahwa proses oksidasi pada pH reaksi basa dapat mengoksidasi gugus hidrofilik menjadi gugus karboksil yang memiliki sifat hidrofilik, sehingga nilai *solubility* hasil modifikasi oksidasi pada pati dapat meningkat.

4.4.3 FTIR (*Fourier Transformation Infrared*)

Analisis FTIR dilakukan pada Laboratorium Quartz Indonesia. FTIR berfungsi untuk mengetahui adanya perbedaan atau perubahan struktur kimia yang mungkin terjadi sebelum dan sesudah diberi perlakuan (Mano dan Reis, 2003). Sesuai dengan Sjahfridi *et al.*, (2015) FTIR dapat mengenali gugus fungsi dari senyawa akibat setiap senyawa menyerap absorbansi *infrared* yang berbeda-beda sehingga setiap senyawa dapat dibedakan dan diukur. Berikut adalah perbandingan hasil FTIR dari kontrol dengan perlakuan terbaik pada Gambar 4.13



Gambar 4.13 Grafik FTIR Perlakuan Terbaik

Proses oksidasi pada pati terdiri dari dua langkah yaitu, pertama-tama kelompok hidroksil terlebih dahulu teroksidasi menjadi gugus karbonil setelah itu menjadi gugus karboksil. Selain itu, terjadi juga depolimerisasi struktur molekul pada pati pada ikatan glikosidik (Wojeicchowski *et al.*, 2018).

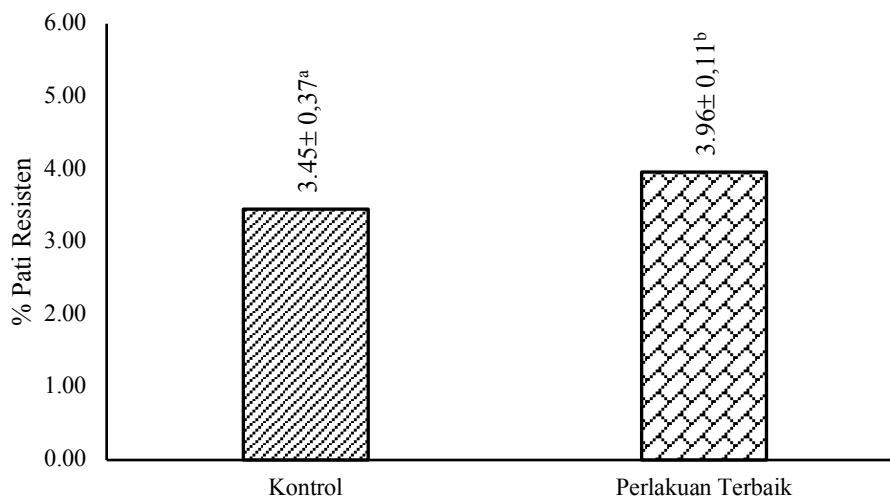
Hung *et al.*, (2017) mengatakan bahwa area *wavelength* dalam rentang 2900 – 3000 cm^{-1} menunjukkan adanya regangan pada C-H, dalam rentang *wavelength* 1160 – 1100 cm^{-1} menunjukkan regangan C-O dan C-C yang berkontribusi dalam regangan pada C-OH, dan dalam rentang 1077 – 928 cm^{-1} menunjukkan bahwa adanya deformasi C-OH dan CH₂.

Pada Gambar 4.13 merupakan hasil FTIR perbandingan kontrol dengan perlakuan terbaik tidak jauh berbeda secara signifikan. Titik tertinggi pada kontrol dan pada perlakuan terbaik didapatkan antara 2500 – 3500 cm^{-1} yaitu pada 2931,93 – 3415,2 cm^{-1} pada kontrol dan 2931,93 – 3418,01 cm^{-1} pada perlakuan terbaik. Titik tertinggi tersebut menunjukkan bahwa adanya perpanjangan dari gugus fungsi O-H dan C-H pada glukosa. *Peak* tersebut juga menunjukkan adanya kelompok gugus hidroksil. Sedangkan pada titik tertinggi antara rentang 1600 – 1300 cm^{-1} menunjukkan *bending* dari gugus O-H dan C-H yang memiliki kelompok gugus fungsional karboksil. *Peak* pada perlakuan terbaik menunjukkan intensitas yang

sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol, terutama pada *peak* 1640,53 cm⁻¹. Intensitas kontrol pada *peak* tersebut adalah 70,678 sedangkan intensitas perlakuan terbaik pada *peak* tersebut adalah 71,665. Kelompok karboksil yang terbentuk pada pati tersebut memiliki karakteristik dapat menyerap air. *Peak* tersebut juga mengindikasikan bahwa adanya pembentukan struktur ikatan C=O pada kelompok karboksil yang disebabkan oleh oksidasi (Wojeicchowski *et al.*, 2018; Coates, 2006; Liu *et al.*, 2013, Chang *et al.*, 2008). Gelombang pada rentang *wavelength* 1700 cm⁻¹ pada perlakuan terbaik lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol menunjukkan bahwa kelompok aldehid yang terbentuk lebih banyak dibandingkan dengan kontrol. Namun, gelombang yang terbentuk kecil, sehingga kelompok karbonil yang terbentuk juga sedikit (Hung *et al.*, 2017, Yi *et al.*, 2014)

4.4.4 Pati Resisten

Pati resisten adalah pati yang tidak mudah untuk dihidrolisis oleh enzim pencernaan dalam usus kecil, namun akan menjadi prebiotik pada kolon (Bavaneethan *et al.*, 2015). Hasil analisis lanjut perlakuan terbaik pada kadar pati resisten dapat dilihat pada Lampiran O dan sertifikat hasil analisis nilai kadar pati resisten yang dilakukan pada Laboratorium Analisis Chem-Mix Pratama dapat dilihat pada Lampiran P. Berdasarkan hasil analisis statistik pada Lampiran O perlakuan terbaik berbeda nyata dengan kontrol ($p < 0,05$) terhadap kadar pati resisten.



Gambar 4.14 Grafik Perlakuan Terbaik terhadap Pati Resisten
Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan beda nyata pada $p < 0,05$

Berdasarkan Gambar 4.14 dapat dilihat bahwa hasil pati resisten setelah dimodifikasi meningkat dibandingkan dengan kontrol. Menurut Wulan *et al.*, (2007) pangan dengan kandungan pati resisten dapat dikelompokkan berdasarkan jumlah pati resisten nya. Bahan pangan yang memiliki pati resisten $< 1\%$ termasuk golongan sangat rendah, $1 - 2,5\%$ termasuk golongan rendah, $2,5 - 5\%$ termasuk golongan sedang, $5 - 15\%$ termasuk golongan tinggi, dan $> 15\%$ termasuk golongan sangat tinggi. Nilai pati resisten pada perlakuan terbaik lebih tinggi $0,51\%$ dibandingkan dengan kontrol yaitu $3,96\%$ yang termasuk golongan bahan pangan memiliki pati resisten sedang. Hasil analisis pada nilai pati resisten menghasilkan peningkatan dibandingkan dengan kontrol. Proses modifikasi secara oksidasi menggunakan NaClO sebagai *oxidizing agent* dapat meningkatkan resistansi pati pada kentang hitam. Peningkatan nilai pati resisten pada perlakuan terbaik lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol tersebut dapat dipengaruhi oleh kadar amilosa dan amilopektin. Meningkatnya kadar amilosa pada pati dapat meningkatkan resistansi pati dikarenakan sifatnya yang tidak mudah terhidrolisis. Oleh karena itu,

amilosa dan atau amilopektin dapat mempengaruhi nilai pati resisten (Zhao *et al.*, 2018).

Menurut Zhou *et al.*, (2016) pada penelitiannya menyatakan bahwa, nilai pati resisten yang didapatkan pada kentang (*Solanum tuberosum* L) hasil dari modifikasi pati dengan oksidasi menggunakan 2g NaClO/100g pati sebesar 11,9%. Peningkatan nilai pati resisten menunjukkan bahwa proses oksidasi dapat mengurangi daya cerna. Pengurangan tersebut dikarenakan adanya struktur yang kokoh pada C2 glukosa sehingga enzim alpha amilase sulit untuk memutuskan ikatan glikosidik. Ketidakesesuaian jumlah pati resisten terbaik hasil analisis dengan penelitian Zhou *et al.*, (2016) dapat dikarenakan perbedaan bahan baku yang digunakan dan jumlah kadar amilosa dan amilopektin pada sumber pati (Sajilata *et al.*, 2006).

4.4.5 Analisis Proksimat

Analisis proksimat yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil analisis proksimat dari sampel pati yang telah dibuat dan yang telah dianalisa lebih lanjut. Hasil analisis proksimat berupa kadar air, kadar protein, kadar lemak, kadar abu, dan kadar karbohidrat dapat dilihat pada Lampiran Q.

Tabel 4.1 Hasil Analisis Proksimat Kontrol dan Perlakuan Terbaik

Perlakuan	Kadar air (%)±SD	Kadar protein (%)±SD	Kadar lemak (%)±SD	Kadar abu (%)±SD	Kadar karbohidrat (%)±SD
Kontrol	9,31± 0,21	8,38 ± 0,16	1,43±0,18	1,67± 0,21	79,22± 0,55
Terbaik (5% NaClO, 30 menit, pH 9)	12,78±0,48	0,03 ± 0,03	1,67±0,09	0,86± 0,04	84,66± 0,58

Pada Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa kadar air pada perlakuan kontrol dan perlakuan terbaik berturut-turut yaitu 9,31% dan 12,78%. Peningkatan kadar air

tersebut menunjukkan bahwa adanya perlakuan oksidasi pada pati dapat meningkatkan ikatan H₂O dan selama proses modifikasi diberikan pemanasan sehingga adanya penyerapan air (Wang dan Wang, 2003). Kadar protein pada kontrol lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan, protein dari hasil modifikasi oksidasi akan membentuk karbonil dan kadar protein kentang hitam sebelum dimodifikasi adalah sekitar 8% (Razali *et al.*, 2012). Kadar lemak pada perlakuan terbaik lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Kadar abu yang lebih tinggi pada kontrol dapat dikarenakan masih adanya senyawa organik lain yang terdapat pada kentang. Kadar karbohidrat yang lebih tinggi pada perlakuan terbaik dapat dikarenakan adanya peningkatan resistansi pati akibat perlakuan hasil modifikasi (Nugraheni *et al.*, 2017).

