

Modifikasi Pati Sorgum menjadi Maltodekstrin secara Enzimatis Dengan Menggunakan Enzim Alfa Amilase dan Gluko Amilase

Modification of Sorghum Starch for Maltodextrin Production using Alpha Amylase and Gluco Amylase

Kristinah Haryani, Diah Susetyo Retnowati, Noer Abyor Handayani*, Winda Mutia Dewi, Shinto Ayu Pamularsih
Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia
*Korespondensi dengan penulis (noer.abyor@che.undip.ac.id)

Artikel ini dikirim pada tanggal 24 April 2021 dan dinyatakan diterima tanggal 11 Maret 2022. Artikel ini juga dipublikasi secara online melalui www.ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/tekpangan. eISSN 2597-9892. Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang diperbanyak untuk tujuan komersial.

Abstrak

Sorghum memiliki kandungan pati yang cukup tinggi sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan maltodekstrin. Maltodekstrin merupakan produk hidrolisis parsial pati yang dibuat dengan penambahan asam atau enzim. Maltodekstrin merupakan campuran dari glukosa, maltosa dan oligosakarida. Selama ini maltodekstrin banyak diproduksi dari pati jagung dan singkong. Penelitian ini dilakukan dengan mencampurkan suspensi pati pada berbagai konsentrasi (9% , 12% , 15% w/v), CaCl₂ 100 ppm, enzim α -amilase 0,2% v/v dan glukoamilase 0,2% v/v. Tujuan penelitian adalah mengkaji konsentrasi pati (9%, 12%,15%) dan temperatur operasi (65°C, 70°C, 75°C) pada proses hidrolisis terhadap yield, nilai *dextrose equivalent* (DE), kelarutan, daya kembang, kadar gula pereduksi dan kadar gula total dari maltodekstrin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses hidrolisa yang relatif baik terjadi pada temperatur 75°C dan konsentrasi pati 9%. Produk hasil hidrolisis (maltodekstrin) tersebut memiliki nilai kadar gula total 21,12%, kadar gula pereduksi 19,2%, kelarutan 8,5%, nilai DE 16,99, dan daya kembang terendah 6,042.

Kata kunci: enzim;hidrolisa;pati sorgum

Abstract

Sorghum has a high starch content so that it can be used as a raw material for maltodextrin production. Maltodextrin is a partial hydrolysis product of starch which is made by adding acids or enzymes. Maltodextrin is a mixture of glucose, maltose and oligosaccharides. Recently, most of the maltodextrin is produced from corn and cassava starch. This research was conducted by mixing starch suspension at various concentrations (9% , 12% , 15% w/v), 100 ppm CaCl₂, α -amylase enzyme 0.2% v/v and glucoamylase 0.2% v/v. The research objective was to assess the starch concentration (9%, 12%, 15%) and operating temperature (65 ° C, 70 ° C, 75 ° C) in the hydrolysis process on yield, dextrose equivalent (DE), solubility, swelling power, reducing sugar content and total sugar content of maltodextrin. The results showed that a relatively good hydrolysis process occurred at a temperature of 75 ° C and a starch concentration of 9%. The hydrolysis product (maltodextrin) has a total sugar content of 21.12%, a reducing sugar content of 19.2%, a solubility of 8.5%, a DE value of 16.99, and the lowest swelling power of 6.042.

Keywords : enzymes, hydrolysis, starch shorgum

Pendahuluan

Saat ini, Indonesia masih melakukan impor pati termodifikasi (maltodekstrin) untuk memenuhi kebutuhan industri obat-obatan dan makanan dengan nilai transaksi sebesar US\$ 5,2 juta di tahun 2015. Upaya pemanfaatan potensi bahan baku lokal dari Indonesia untuk produksi maltodekstrin perlu dilakukan, sehingga dapat mengurangi nilai impor. Sorgum merupakan sumber karbohidrat dengan kandungan pati yang tinggi (73 g/100 g bahan), sehingga memiliki potensi sebagai bahan baku pembuatan maltodekstrin (Haryani *et al.*, 2015, Haryani *et al.*, 2020). Penggunaan pati alami dalam industri masih terbatas karena sifat fungsionalnya yang rendah, seperti kecenderungan mengalami retrogradasi ketika disimpan pada temperatur rendah. Usaha peningkatan sifat fungsional pati perlu dilakukan dengan proses modifikasi pati enzimatis melalui proses hidrolisis parsial menjadi maltodekstrin.

Maltodekstrin (C₆H₁₀O₅)_n.H₂O merupakan polimer sakarida yang bernutrisi, tidak manis, terdiri dari beberapa unit glukosa dengan ikatan α -1,4 glikosidik, dengan nilai dextrose equivalent (DE) kurang dari 20. Maltodekstrin mempunyai penggunaan yang lebih luas dibandingkan pati alami terutama dalam industri makanan, tekstil , kertas maupun farmasi. Pada aplikasi di bidang industri makanan, maltodekstrin berfungsi sebagai bahan tambahan, penstabil rasa, bahan pemanis tambahan dengan derajat rendah namun berkalori, serta pencegah kontaminasi mikrobiologi dan reaksi pencoklatan. Selama ini, maltodekstrin diproduksi dari pati jagung (Amerika) dan pati singkong (Thailand). Modifikasi pati sorgum menjadi maltodekstrin diharapkan dapat meningkatkan nilai ekonomi tanaman sorgum. Pembuatan maltodekstrin dari pati sorgum melalui proses hidrolisa parsial dengan hanya menggunakan enzim alfa amilase saja hasilnya kurang optimal karena membutuhkan waktu lama dan DE yang dihasilkan rendah. Hal ini disebabkan oleh adanya protein kafirin bersifat hidrofob yang melingkupi granula pati, sehingga sulit ditembus enzim alfa amilase (Haryani *et al.*, 2015). Oleh karena itu, penelitian ini akan melakukan hidrolisa parsial pati sorgum menggunakan enzim alfa-amylase dan gluko-amylase sekaligus.

Alfa-amilase merupakan endoenzim yang memecah ikatan α -1,4 glikosidik pada bagian dalam polimer pati, sedangkan gluko-amilase merupakan exoenzim yang dapat memecah ikatan α -1,4 pada rantai lurus juga mampu ikatan α -1,6 pada titik percabangan polimer pati. Kombinasi kedua enzim tersebut akan menghasilkan

maltodekstrin yang lebih berpori sehingga mudah larut dalam air dingin. Selain itu, pemecahan pada titik percabangan akan mengurangi oligosakarida rantai bercabang sehingga maltodekstrin yang dihasilkan mampu membentuk gel sebagai *fat replacer* dengan *mouth feel* yang bagus (Marchal, Beefting and Tramper, 1999).

Studi modifikasi pati telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya (Pudjihastuti *et al.*, 2018, Haryani *et al.*, 2020, Li *et al.*, 2020, Rajan *et al.*, 2006). Namun, penelitian mengenai modifikasi pati sorgum menggunakan metode hidrolisis pati dengan 2 enzim (alfa-amylase dan gluco-amylase) belum pernah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh konsentrasi pati (9%, 12%, 15%) dan temperatur operasi (65°C, 70°C, 75°C) terhadap yield, nilai dextrose equivalent (DE), kelarutan, daya kembang, kadar gula pereduksi dan kadar gula total.

Materi dan Metode

Materi

Bahan utama dalam penelitian ini adalah biji sorgum yang dibeli dari Pasar Burung Semarang Jawa Tengah. Indikator dan enzim yang digunakan pada proses hidrolisa adalah fehling A, fehling B, enzim α -amilase dan gluco-amilase. Bahan penunjang lainnya, seperti aquadest, CaCl_2 anhidrat, glukosa standar, HCl, dan NaOH semuanya berasal dari Sigma.

Metode

Penelitian ini terdiri dari 3 tahapan utama, yaitu: pembuatan pati sorgum, hidrolisa pati sorgum, dan analisis hasil.

Pembuatan pati sorgum. Biji sorgum digiling menggunakan mesin penggiling beras dan dikeringkan untuk mendapatkan produk tepung. Selanjutnya, produk diayak untuk mendapatkan tepung sorgum yang halus. Kemudian, tepung sorgum dicampur dengan air, diperas dan disaring dengan saringan yang halus. Air yang mengandung pati akan ditampung dan diendapkan untuk mendapatkan pati murni. Endapan tersebut kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari untuk mendapatkan produk pati kering.

Proses hidrolisa. Hidrolisis pati dilakukan dengan mencampurkan suspensi pati pada berbagai konsentrasi (9% , 12 % , 15% w/v), CaCl_2 100 ppm, enzim α -amilase 0,2% v/v dan glucoamilase 0,2% v/v. Campuran tersebut diaduk dengan kecepatan 1080 rpm selama 10 menit dan temperatur 65°C, 70°C dan 75°C. Selanjutnya, proses inaktivasi enzim dilakukan dengan menambahkan HCl hingga pH 3-4 dan didinginkan sampai temperatur 60°C. Kemudian, larutan dinetralkan menggunakan NaOH 0,1 N hingga pH 7,0. Produk maltodekstrin kemudian disaring menggunakan filtrasi vakum dan dikeringkan pada temperatur ruangan.

Analisis

Analisis kelarutan dilakukan dengan melarutkan 1 gr maltodekstrin kedalam aquadest 20 ml, kemudian dipanaskan dalam waterbath pada temperatur 60°C selama 30 menit dengan pengadukan kontinyu. Setelah itu, larutan disentrifugasi dengan kecepatan 3000 rpm selama 20 menit sehingga terpisah antara supernatant dengan pastanya. Sebanyak 10 ml supernatant diambil dan dikeringkan menggunakan oven pada temperatur 105°C hingga didapatkan berat supernatant konstan. Kelarutan maltodekstrin dihitung dengan menggunakan Persamaan (1).

$$\text{Kelarutan} = \frac{\text{berat endapan kering}}{\text{volume supernatant}} \times 100\% \quad (1)$$

Analisis daya kembang dilakukan dengan melarutkan 0,1 gram maltodekstrin ke dalam 10 ml aquadest, kemudian dipanaskan dalam waterbath pada temperatur 60°C selama 30 menit dengan pengadukan kontinyu. Setelah itu, larutan disentrifugasi dengan kecepatan 2500 rpm selama 15 menit sehingga terpisah antara supernatant dengan pastanya. Pisahkan supernatant dari pastanya, timbang berat pasta. Catat berat tersebut, kemudian hitung swelling power dengan menggunakan Persamaan (2):

$$\text{Daya kembang} = \frac{\text{berat pasta}}{\text{berat sampel kering}} \times 100\% \quad (2)$$

Analisis DE (*dextrose equivalent*) dilakukan dengan metode yang dilakukan oleh Leach *et al.*, 1959. Pertama membuat larutan dengan konsentrasi 10 gr/200 ml dari hasil pembuatan maltodekstrin. Kemudian dimasukkan ke dalam buret. Sebanyak 50 ml aquadest dimasukkan dalam *beaker glass* kemudian ditambahkan masing-masing 5 ml larutan Fehling A dan B dan 15 ml larutan glukosa. Larutan tersebut dididihkan dan dititrasi dengan larutan maltodekstrin hingga berwarna coklat kemerahan. Catat kebutuhan titran lalu hitung nilai DE menggunakan Persamaan (3)

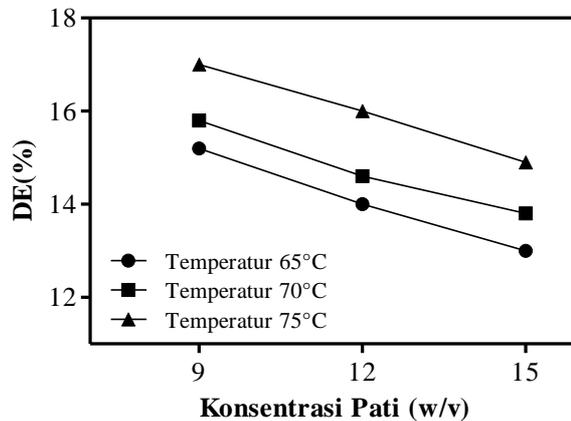
$$\text{DE} = \text{FF} \times \frac{100}{\text{konsentrasi larutan pati} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mL}} \right) \times \text{kebutuhan titran} (\text{mL})} \quad (3)$$

FF = Fehling Factor

Hasil dan Pembahasan

Pengaruh Konsentrasi Pati Terhadap Dextrose Equivalen (DE) pada Berbagai Temperatur

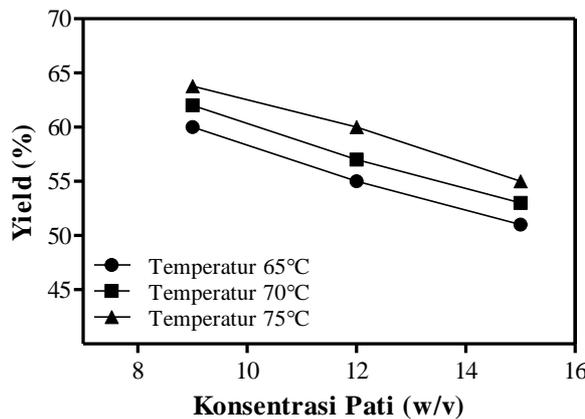
Gambar 1 menunjukkan pengaruh dari konsentrasi pati terhadap nilai DE pada berbagai temperatur. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa semakin rendah konsentrasi pati, maka nilai DE menjadi semakin besar. Nilai DE tertinggi (16,99%) ditunjukkan pada konsentrasi pati 9%. Sebaliknya, semakin tinggi temperatur operasi maka nilai DE akan semakin besar. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Kittisuban (2014). bahwa semakin banyak kandungan air dan semakin tinggi temperatur maka proses hidrolisa akan semakin cepat dengan terpecahnya bagian kristalin, sehingga rantai amilosa dan amilopektin akan terpotong menjadi lebih pendek dan nilai DE semakin besar. Nurfida dan Nawang (2010) pada penelitian pembuatan maltodekstrin dari pati singkong juga mengatakan semakin rendah konsentrasi pati menghasilkan nilai DE yang lebih besar.



Gambar 1. Pengaruh konsentrasi pati terhadap nilai DE pada berbagai temperatur (0,2% v/v α-amilase, 0,2% v/v gluco-amilase, 0,2%v/v CaCl₂ 100 ppm, 10 menit)

Pengaruh Konsentrasi Pati terhadap Yield pada Berbagai Temperatur

Gambar 2 menunjukkan pengaruh konsentrasi pati terhadap nilai DE. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi pati, maka nilai yield akan semakin kecil. Sebaliknya semakin tinggi temperatur operasi, maka nilai yield juga semakin besar. Nilai yield terbesar (63,81%) dicapai pada konsentrasi pati 9% dan temperatur 75°C, sedangkan nilai yield terendah (51,06%) dicapai pada konsentrasi pati 15% dan temperatur 65°C.

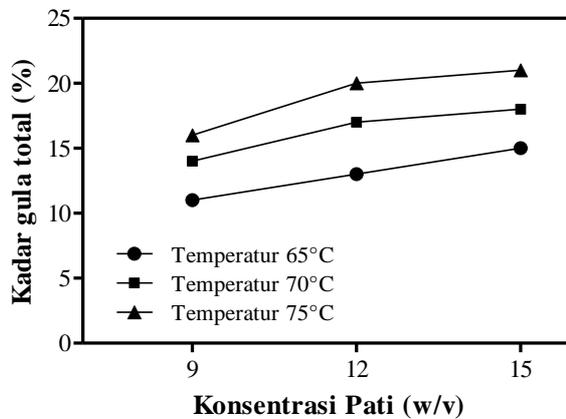


Gambar 2. Pengaruh konsentrasi pati terhadap yield pada berbagai temperatur (0,2% v/v α-amilase, 0,2% v/v gluco-amilase, 0,2%v/v CaCl₂ 100 ppm, 10 menit)

Jumlah air pada larutan akan mempengaruhi jumlah maltodekstrin yang terbentuk. Semakin besar konsentrasi pati maka reaksi hidrolisis akan bergeser ke kiri, sehingga maltodekstrin yang dihasilkan lebih sedikit. Maltodekstrin merupakan produk reaksi hidrolisis yang larut dalam air, jika jumlah air dalam larutan semakin sedikit maka kelarutannya semakin menurun. Menurunnya nilai kelarutan akan mengurangi kecepatan reaksi hidrolisa pati (Danly *et al.*, 2017). Hasil penelitian juga mengindikasikan bahwa semakin tinggi temperatur maka yield yang dihasilkan juga semakin tinggi. Hal ini disebabkan oleh peningkatan kelarutan dari pati. Semakin banyak jumlah pati yang larut dalam air, maka reaksi hidrolisa pati menjadi lebih cepat, sehingga jumlah produk maltodekstrin dan yield nya semakin besar (Kittisuban *et al.*, 2014).

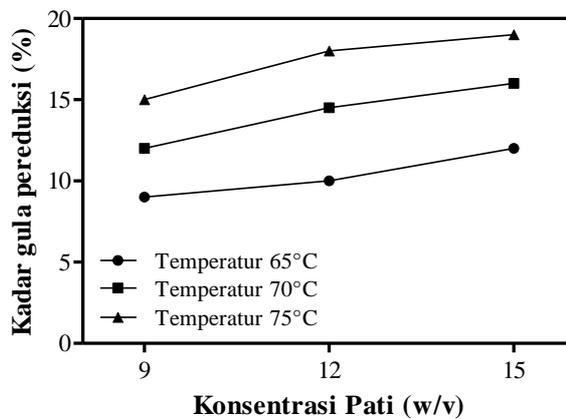
Pengaruh Konsentrasi Pati Terhadap Kadar Gula Total dan Gula Reduksi pada Berbagai Temperatur

Gambar 3 dan 4 masing-masing menunjukkan pengaruh konsentrasi pati terhadap nilai kadar gula total dan gula reduksi pada berbagai temperatur (65°C, 70°C, 75°C). Gula total merupakan kandungan gula keseluruhan dalam suatu bahan pangan baik itu gula reduksi maupun gula non-reduksi, dan semua jenis karbohidrat dari golongan monosakarida, disakarida, oligosakarida, dan polisakarida.



Gambar 3. Pengaruh konsentrasi pati terhadap kadar gula total pada berbagai temperatur (0,2% v/v α-amilase, 0,2% v/v glukosa-amilase, 0,2%v/v CaCl₂ 100 ppm, 10 menit)

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi pati, maka kadar gula total yang diperoleh semakin besar. Hal ini disebabkan oleh semakin banyak jumlah pati yang digunakan, maka gula yang terbentuk juga akan semakin besar. Gambar 3 juga mengindikasikan bahwa semakin tinggi temperatur operasi maka kadar gula total yang dihasilkan semakin tinggi. Penggunaan temperatur operasi yang lebih tinggi akan menyebabkan kecepatan reaksi hidrolisis juga akan semakin meningkat.

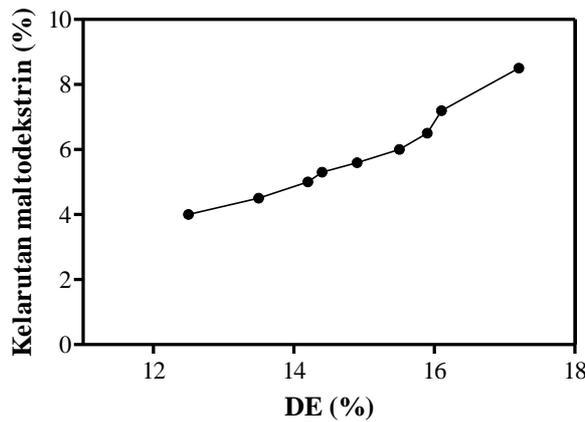


Gambar 4. Pengaruh konsentrasi pati terhadap kadar gula pereduksi pada berbagai temperatur (0,2% v/v α-amilase, 0,2% v/v glukosa-amilase, 0,2%v/v CaCl₂ 100 ppm, 10 menit)

Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi pati, maka kadar gula pereduksi yang diperoleh semakin besar. Sama halnya dengan kandungan gula total pada konsentrasi tinggi (15%), maka jumlah pati yang dihidrolisa lebih banyak sehingga menghasilkan kadar gula pereduksi yang lebih tinggi. Gambar 4 juga menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur operasi maka kadar gula pereduksi yang dihasilkan semakin tinggi. Hal ini juga disebabkan oleh meningkatnya kecepatan reaksi hidrolisa pada temperatur yang semakin tinggi. Hasil ini sesuai dengan peneliti sebelumnya yang melaporkan bahwa semakin tinggi temperatur pada proses hidrolisis pati menggunakan enzim glukosa-amilase dan pullulanase, maka kadar gula reduksi yang diperoleh semakin naik (Roy dan Gupta,2004,Liu et al 2020).

Hubungan Nilai Dextrose Equivalen (DE) terhadap Kelarutan pada berbagai Konsentrasi Pati

Beberapa faktor dapat mempengaruhi kelarutan suatu zat, seperti temperatur, jumlah solut dan konsentrasi solven (Nurhadi, *et al*, 2016). Dalam penelitian ini, pati digunakan sebagai solut (zat terlarut) dan air digunakan sebagai solven (zat pelarut). Gambar 5 menunjukkan kelarutan dari maltodekstrin yang dihasilkan dari proses hidrolisis enzimatik.



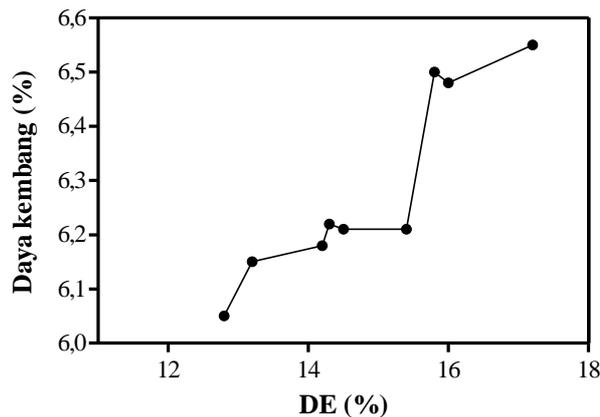
Gambar 5. Pengaruh nilai DE terhadap kelarutan maltodekstrin pada berbagai konsentrasi pati (0,2% v/v α -amilase, 0,2% v/v glukosa-amilase, 0,2%v/v CaCl_2 100 ppm, 10 menit)

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa semakin besar nilai DE, maka nilai kelarutan akan semakin besar (Marchal, *et al.*,1999). Kelarutan yang paling tinggi (8,5) dicapai pada DE 15,68, sebaliknya nilai kelarutan paling rendah (4,09) dicapai pada nilai DE 12,68. Berdasarkan pola kelarutan maltodekstrin di atas, nilai kelarutan berbanding lurus dengan nilai DE. Hal ini disebabkan oleh terjadinya depolimerisasi dan pelemahan struktur pada butir pati (Hodge & Osman, 1996). Sementara itu, molekul amilosa yang terdepolimerisasi menjadi molekul rantai pendek mulai terlarut dalam air, sehingga kelarutan pati dalam air juga meningkat secara signifikan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Ratnayake dan Jackson (2006), yang melaporkan bahwa kelarutan tepung dalam air dipengaruhi oleh fraksi amilosa yang terlepas dari rantai pati.

Pada proses gelatinisasi terjadi pengrusakan ikatan hidrogen intramolekuler. Ikatan hidrogen berperan mempertahankan struktur integritas granula. Gugus hidroksil bebas akan menyerap air, sehingga terjadi pembengkakan granula pati.(Li *et al.*, 2020). Dengan demikian, semakin banyak jumlah gugus hidroksil dari molekul pati, maka semakin tinggi kemampuannya menyerap air, sehingga granula pati akan terdegradasi menjadi molekul-molekul yang lebih kecil dan mudah larut dalam air (Li & Yeh, 2001).

Hubungan Nilai Dextrose Equivalen (DE) Terhadap Swelling Power Pada Berbagai Konsentrasi Pati

Gambar 6 menunjukkan nilai daya kembang dari maltodekstrin pada berbagai DE. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa semakin besar nilai DE maka nilai daya kembang juga akan cenderung meningkat. Nilai daya kembang terendah (6,04) dicapai pada nilai DE 12,68% dan nilai daya kembang tertinggi (6,54) dicapai pada nilai DE 16,99%.



Gambar 6. Pengaruh nilai DE terhadap daya kembang maltodekstrin pada berbagai konsentrasi pati (0,2% v/v α -amilase, 0,2% v/v glukosa-amilase, 0,2%v/v CaCl_2 100 ppm, 10 menit)

Nilai DE dari maltodekstrin terbukti tidak cukup untuk memprediksi kinerja atau sifat maltodekstrin. Hal ini disebabkan oleh produk maltodekstrin yg dihasilkan (dengan tingkat rata-rata tertentu dari polimerisasi) biasanya memiliki rantai lurus dan bercabang (mengandung ikatan 1-6). Maltodekstrin dengan DE yang sama bisa memiliki sifat yang berbeda di berbagai aplikasi karena komposisi molekulnya berbeda. Maltodekstrin dengan DE yang rendah bersifat non-higroskopis, sebaliknya maltodekstrin dengan DE tinggi cenderung menyerap air (higroskopis) (Marcshal, *et al.*,1999). Maltodekstrin dengan nilai DE yang rendah akan meminimalkan pengikatan air oleh gugus hidroksil, sehingga produk semakin bersifat non-higroskopis Maltodekstrin dengan nilai DE yang rendah mempunyai populasi berat molekul polisakarida yang paling besar. Salah satu sifat polisakarida adalah sukar larut

dalam air. Nilai DE yang tinggi bersifat higroskopis yaitu mempunyai kemampuan menyerap air lebih besar sehingga pati akan mengembang (Marcshal, Beefting and Tramper, 1999).

Peningkatan daya kembang disebabkan kadar amilosa yang semakin rendah atau amilopektin dalam pati lebih tinggi. Amilopektin berada pada daerah amorf granula pati. Rachmayanti (2010) menyatakan bahwa daerah amorf merupakan daerah yang renggang dan kurang padat, sehingga mudah dimasuki air. Bagian amorf merupakan bagian yang lebih mudah menyerap air. Semakin banyak amilopektin pada pati, maka daerah amorf akan semakin luas, sehingga penyerapan air akan semakin luas.

Kesimpulan

Produksi maltodekstrin dari pati sorgum termodifikasi menggunakan enzim alfa-amilase dan gluko-amilase telah dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai Dextrose Equivalent (DE) dipengaruhi oleh konsentrasi pati dan temperatur operasi. Semakin tinggi konsentrasi pati maka nilai DE juga akan menurun. Pada penelitian ini nilai DE tertinggi ditunjukkan pada percobaan dengan konsentrasi pati 9% yang dijalankan pada temperatur operasi 75°C. Nilai DE paling rendah ditunjukkan pada percobaan dengan konsentrasi pati 15% yang dijalankan pada temperatur operasi 65°C. Nilai yield terbesar (63,81%) dicapai pada konsentrasi pati 9% dan temperatur 75°C, sedangkan nilai yield terendah (51,06%) dicapai pada konsentrasi pati 15% dan temperatur 65°C. Nilai daya kembang terendah (6,04) dicapai pada nilai DE 12,68% dan nilai daya kembang tertinggi (6,54) dicapai pada nilai DE 16,99%. Kelarutan yang paling tinggi (8,5) dicapai pada DE 15,68, sebaliknya nilai kelarutan paling rendah (4,09) dicapai pada nilai DE 14,00. Nilai daya kembang terendah (6,04) dicapai pada nilai DE 12,68% dan nilai daya kembang tertinggi (6,54) dicapai pada nilai DE 16,99%.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kami ucapkan kepada LPPM Universitas Diponegoro yang telah mendanai penelitian ini melalui Proyek PNBP.

Daftar Pustaka

- Danli, W., Ma X., Yan L., Chantapakul T., Wang W., Ding T., Ye X., dan Liu D. 2017. Ultrasound assisted enzymatic hydrolysis of starch catalyzed by glucoamylase: Investigation on starch properties and degradation kinetics. *Carbohydrate Polymers*, 175, 47-54.
- Haryani, K., Hadiyanto, Hargono, & Handayani, N. A. 2015. Sifat Fisikokimia Pati Sorghum Varietas Merah dan Putih Termodifikasi Heat Moisture Treatment (HMT) untuk Produk Bihun Berkualitas. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"* (hal. 1693-4393). Yogyakarta: Program Studi Teknik Kimia, FTI, UPN "Veteran" Yogyakarta.
- Haryani, K., Siregar, A., & Larasati, D. L. 2020. Modifikasi Pati Sorgum (*Sorghum Bicolor* L.) Dengan Metode Oksidasi Menggunakan Hidrogen Peroksida. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 5(2).
- Hodge, J. E., & Osman, E. M. 1996. Carbohydrates. In O. R. Fennema (Ed.), *Food chemistry* (p. 47). New York: Marcel Dekker
- Kittisuban, P., Lee, B.H., Suphantharika, M. and Hamaker, B.R., 2014, Slow glucose release property enzyme synthesized highly branched maltodextrins differ among starch sources, *Carbohydrat Polymer* 107 pp182-191.
- Leach, H.W., Mc.Cowan L.D. and T.J. Schoch, T.J. 1959, *Cereal Chem*, 36 : 534.
- Li, H., Gui, Y., Li, J., Zhu, Y., Cui, B., & Guo, L. 2020. Modification of rice starch using a combination of autoclaving and triple enzyme treatment: Structural, physicochemical and digestibility properties. *International journal of biological macromolecules*, 144, 500-508.
- Li, J.Y., dan Yeh, A.I. 2001. Relationship Between Thermal, Rheological Characteristics, And Swelling Power For Various Starches. *J. Food Engineering Vol.50* : 141-148.
- Liu, C. , Liu, M. , Wang, P. , Chang, J., Yin, Q., Zhu, Q., Lu, F., 2020, Effect of steam-assisted alkaline pretreatment plus enzymolysis on converting corn stalk into reducing sugar, *Renewable Energy*, 159, 982-990
- Marchal L. M, Beeftink, H.H., and Tramper J., 1999. Towards a rational design of commercial maltodextrins, *Food and Bioprocess Engineering Group, Department of Food Technology and nutritional Sciences, Wageningen University, Netherlands*.
- Nurfida, A. P. dan Nawang, I. 2010. Pembuatan Maltodekstrin dengan Proses Hidrolisa Parsial Pati Singkong Menggunakan Enzim A-Amilase.
- Nurhadi, B., Roos, J.H. and Maidanyk, V. 2016 Physical properties of maltodekstrin : Water sorption, water plastisization and enthalpy relaxation, *Journal of Food Engineering* ,174, 68-74
- Pudjihastuti, I., Handayani, N., & Sumardiono, S. 2018. Effect of pH on physicochemical properties of cassava starch modification using ozone. In *MATEC Web of Conferences*. 156, 01027). EDP Sciences.
- Rajan, A., & Abraham, T. E. 2006. Enzymatic modification of cassava starch by bacterial lipase. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 29(1), 65-71.
- Rachmayanti, D. 2010. Pemodelan dan Optimalisasi Hidrolisa Pati Menjadi Glucosa dengan Metode Artificial Aural Network-Genetik Algorithm (Ann-Ga). Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- Ratnayake, W. S., & Jackson, D. S. 2006. Gelatinization and kelarutan of corn starch during heating in excess water: new insights. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(10), 3712-3716.
- Roy, I. and Gupta, M.N. 2004. Hydrolysis of starch by a mixture of glucoamylase and pullulanase entrapped individually in calcium alginate beads *Enzyme and Microbial Technology* 34 26–32