



Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri
(SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id



Glukoamilase amobil pada silika mesostructured cellular foam (mcf) magnetik untuk hidrolisis pati kentang

Joni Agustian ^{a,1}, Lilis Hermida ^a, Heri Rustamaji ^a, Muhammad Haviz ^a

^a Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas lampung, Bandar Lampung

INFORMASI ARTIKEL	ABSTRAK
<i>Riwayat artikel:</i> Diterima 11/11/2024 Direvisi 13/01/2025 Dipublish 22/05/2025 <i>Kata kunci:</i> Enzim glukoamilase amobil Penyangga silika MCF (9.2T-3D) magnetik Pati Kentang Proses hidrolisi pati	Inovasi dan studi silika mesopori magnetik untuk penyangga imobilisasi enzim glukoamilase untuk hidrolisis pati kentang belum dilakukan karena penyangga magnetik hanya dikaitkan dengan bahan partikel nano baik murni maupun komposit. Proses imobilisasi enzim glukoamilase pada penyangga dengan kondisi operasi proses divariasikan untuk diketahui pengaruhnya terhadap proses dimana hasil akhir adalah tingkat imobilisasi enzim yang cukup besar yang disimpulkan dari hasil analisis kandungan protein (metode Bradford), FTIR dan SEM-EDX. Bahan partikel nano magnetik berhasil diinkorporasi pada permukaan silika MCF (9.2T-3D) dengan tingkat imobilisasi optimum enzim glukoamilase bebas adalah sekitar 89,46% yang didapatkan pada kondisi operasi optimum pH larutan buffer 5,0, suhu operasi 35°C, kecepatan pengadukan 120 rpm,dan konsentrasi enzim suplai sebesar 5,5%. Walaupun unit aktivitas enzim amylase amobil adalah lebih rendah daripada enzim amylase bebas, enzim amobil tetap dapat digunakan untuk menghidrolisis susbtrat larut dalam air. Poses hidrolisis pati kentang dengan enzim tersebut menghasilkan nilai DE optimum 26,93% pada suhu 70°C, kecepatan pengadukan 170 rpm, pH buffer asetat 0,1 M 4,6, dan konsentrasi enzim 1500 U/mg.

1. Pendahuluan

Enzim glukoamilase digunakan di industri guna merombak pati menjadi glukosa yang umumnya dilakukan dengan penambahan enzim amilase bebas ke dalam larutan pati. Setelah digunakan, enzim bebas tersebut tidak dipakai kembali karena kesulitan/kemahalan dalam proses *recovery* enzim (Nisha dkk, 2012). Salah satu cara mengatasi penggunaan enzim bebas seperti tersebut diatas adalah penggunaan enzim amobil. Dengan metode

ini, enzim menempel pada permukaan penyangga dimana substrat pati dihidrolisis oleh enzim yang menempel (amobil) yang menghasilkan produk yang bersih dari kontaminasi enzim.

Penyangga enzim tipe anorganik dibagi atas dua jenis, yaitu: non-magnetik dan magnetik. Penyangga non-magnetik dipisahkan dari reaksi dengan filtrasi atau sentrifugasi setelah untuk diresirkulasi ke reaktor, sedangkan penyangga magnetik tidak perlu dikeluarkan dari reaktor

¹ Joni Agustian.
E-mail: joni.agustian@eng.unila.ac.id

karena pemisahannya cukup dengan mengaktifkan medan magnet di akhir proses (*in-situ separation*) yang akan memisahkan enzim amobil dari campuran reaksi. Penyangga non-magnetik untuk alfa-amilase dan glukamilase banyak dipelajari seperti bahan mesopori dan modifikasinya (Hisamatsu dkk, 2012; Soleimani dkk, 2012; Pandhya dkk, 2005; Szymanska et al, 2007; Usman dkk, 2013; George dan Sugunan, 2014; George dkk, 2013), serat poliakrilamida (Baskar dkk, 2015), keramik (Dragomescue dkk, 2009), poliimida (Cigil dkk, 2013), dan silika (Schmidt-Winkel dkk, 2000; Hermida dkk, 2013).

Inovasi penyangga silika mesopori magnetik untuk glukamilase belum juga dilakukan. Saat ini, penyangga magnetik hanya dikaitkan dengan bahan partikel nano (murni, komposit) dengan sifat magnetik berasal dari Fe atau Zn dan digunakan untuk imobilisasi enzim alfa-amilase dan glukamilase (Anthony dkk, 2016; Baskar dkk, 2015; Bellino dkk, 2011; Khan dkk, 2012; Zhao dkk, 2011a). Bahan mikropori seperti komposit Fe_3O_4 atau poli-(stiren+anhidrid maleat) dipakai untuk penyangga alfa-amilase (Qiu dkk, 2005). Wang dkk (2013) mengimobilisasi glukamilase pada penyangga nano kitosan magnetik berukuran sekitar 200 nm dengan hasil imobilisasi optimum sebesar 87% yang diperoleh dalam waktu 2 jam pada pH 4 dan suhu 25°C. Penyangga anorganik seperti nano-karbon, nano-grafit dan nano-clay yang memiliki bentuk *tube* atau *sheet* juga dimodifikasi dengan senyawa magnetik Fe_3O_4 , yang kemudian difungsionalisasi agar dapat mengikat glukamilase bebas dimana produk

glukamilase amobil memiliki aktivitas, stabilitas termal dan *reuseability* yang baik (Ma dkk, 2012; Zhao dkk, 2011b; Zhao dkk, 2011c).

Oleh karena itu, diinginkan untuk mempelajari karakteristik glukamilase amobil pada penyangga silika *mesostructured cellular foam* (MCF 9.2T-3D) magnetik dalam hidrolisis pati kentang yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh faktor operasi proses hidrolisis zat pati kentang menggunakan glukamilase amobil pada penyangga tersebut.

2. Metodologi

2.1. Alat dan bahan

Peralatan yang digunakan adalah erlenmeyer (100 dan 250 mL), *hot plate* (2000 mL, 100-2000 rpm, $\leq 380^\circ\text{C}$), *water bath shaker* (25 L, 5-100°C, 20-180 rpm), kertas saring (42,5 mm, 200 μm), pH meter, *water bath* (14 L, 25-100°C), gelas Beaker (25 mL), neraca digital, dan *centrifuge* (24 x 1.5/2.0 mL). Bahan-bahan meliputi asam klorida, silika MCF asal TEOS, FeCl_3 dan Fe_2SO_4 , NH_3 , air RO (Reverse Osmosis), pati entang, trimetilbenzen, NH_4F , 3,5-dinitrosaliciclic acid, KH_2PO_4 , dan $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

2.2. Pembuatan silika MCF magnetik

Proses inkorporasi partikel nano magnetik kedalam silika MCF (9.2T-3D) mengikuti prosedur Swarnalatha dkk (2013), sebagai berikut: FeCl_3 sebanyak 13,51 gram dan Fe_2SO_4 sebanyak 6,95 gram dicampurkan dengan 70 mL air. Kemudian siapkan 30 mL larutan NH_4OH (30%) lalu tambahkan 0,5-gram silika MCF. Campuran NH_4OH dan silika MCF dimasukkan secara perlahan ke dalam larutan ferric ions sambil diaduk dengan kecepatan 200 rpm selama 30 menit. Selanjutnya campuran diaduk dengan kecepatan 1000 rpm selama 1 jam. Kemudian, campuran disaring dan endapannya dibilas hingga cairan menjadi bening. Endapan yang telah dibilas lalu dikeringkan pada suhu 60°C selama 12 jam.

2.3. Imobilisasi enzim glukamilase

Proses imobilisasi glukamilase sebagai berikut: enzim bebas dimasukan kedalam larutan 30 mL buffer fosfat 100 mM. Selanjutnya 0,5-gram silika MCF magnetik ditambahkan kedalamnya. Campuran

ditempatkan dalam water bath shaker untuk proses imobilisasi selama 5 jam. Selanjutnya campuran disaring. Cairan supernatan disimpan dalam kulkas untuk analisis protein. Enzim amobil dibasuh dengan larutan buffer dan dikeringkan dalam desikator pada suhu ruang. Filtrat hasil pencucian disimpan dalam kulkas untuk analisis protein. Enzim amobil yang telah dikeringkan disimpan dalam kulkas sebelum digunakan.

2.4. Uji aktivitas enzim

Aktivitas enzim glukoamilase amobil ditentukan dengan metode Bernfeld (Milosavic dkk, 2007). Prosedur kerja adalah sebagai berikut: 4 gram soluble starch dilarutkan ke dalam 100 mL larutan buffer asetat 0,05 M dengan pH 4,5. Selanjutnya 25 mL larutan soluble starch dimasukkan ke dalam Erlenmeyer dengan 1 mL sampel diambil untuk mengetahui konsentrasi glukosa awal. Kedalam erlenmeyer yang berisi larutan buffer dimasukkan enzim glukoamilase amobil sebanyak 50 mg atau sebanyak 25 mg enzim glukoamilase bebas. Kemudian campuran tersebut dipindahkan ke dalam water bath yang suhunya 60oC dengan kecepatan pengadukan 140 rpm. Pengambilan sampel dilakukan pada selang waktu 5 menit selama 30 menit. Kemudian sampel disentrifugasi pada kecepatan 3000 rpm selama 3 menit.

2.5. Hidrolisis Pati Dengan Glukoamilase Amobil

Variasi faktor proses hidrolisis diuraikan dalam Tabel 1. Prosesnya adalah sebagai berikut: 30 mL larutan buffer sodium asetat ditempatkan dalam labu Erlenmeyer 100 mL yang kedalamnya dilarutkan pati kentang sesuai konsentrasinya. 400 mg enzim amobil dimasukkan ke dalam larutan pati yang kemudian ditempatkan dalam water bath shaker sesuai temperatur operasi selama 8 jam. Sampel awal dan akhir dianalisis untuk menentukan efektivitas reduksi gula yang terbentuk.

Tabel 1. Faktor operasi proses

Faktor	Variasi
Temperatur	65-75 °C
Kecepatan pengadukan	120-170 rpm
pH buffer	4,1-5,1
Konsentrasi enzim	1500-5000 U/mg

2.6. Analisis protein

50 mL reagen BCA A dan 1 mL reagen BCA B ke dalam tabung reaksi. Sampel sebanyak 0,1 mL dimasukkan kedalam tabung reaksi. Memasukkan reagen BCA sebanyak 2 mL kedalam sampel. Larutan ditempatkan dalam water bath dengan suhu 37oC selama 30 menit. Setelah dingin, sampel dianalisis

menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 562 nm. ABS hasil analisis sampel dikurangi ABS blangko (pelarut) menghasilkan ABS murni protein.

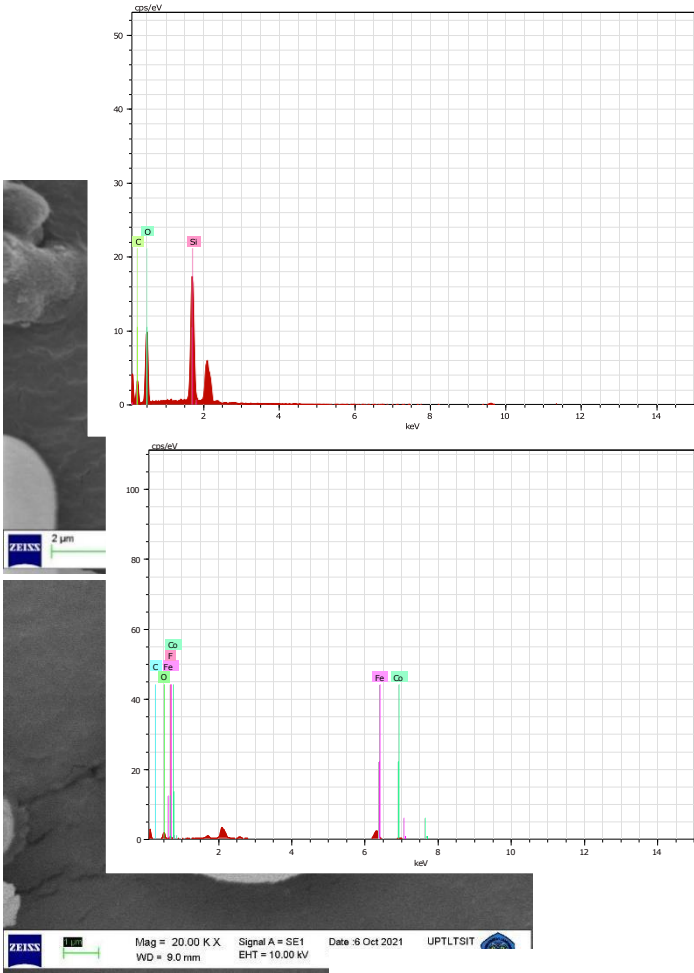
2.7. Analisis gula reduksi

Larutkan 1 gram 3,5-dinitrosalicylic acid dalam 50 mL aquades. Kemudian tambahkan 30-gram sodium potassium tartrat tetrahidrat. Tambahkan 20 ml larutan NaOH 2 N. Kemudian tambahkan aquades hingga volume akhir larutan 100 mL. Selanjutnya prosedur analisis glukosa adalah sebagai berikut: tambahkan 0,3 mL sampel glukosa yang tidak diketahui dan 0,3 mL reagen DNSA di dalam tabung reaksi. Kemudian sampel dimasukkan ke dalam air mendidih selama 7 menit. Setelah itu, tambahkan aquades sebanyak 3 mL, kemudian analisis menggunakan spektrofotometer UV-VIS panjang gelombang 540 nm.

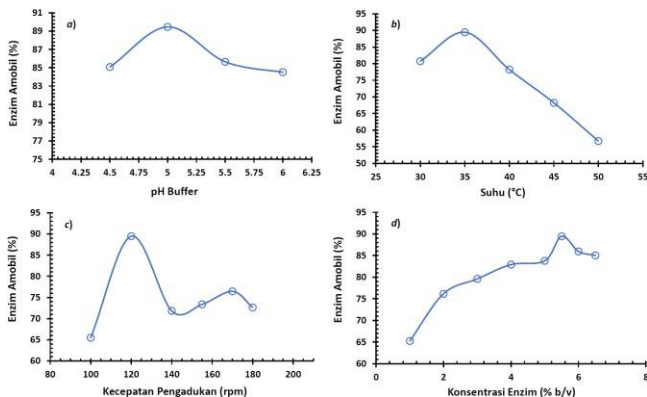
3. Hasil dan pembahasan

3.1. Karakteristik silika MCF dan MCF magnetik

Morfologi permukaan silika MCF (9.2T-3T) dianalisis dengan scanning electron microscope (SEM), baik silika MCF kosong maupun silika MCF magnetik



diperlihatkan pada Gambar 1. Dapat diketahui perbandingan morfologi kedua jenis silika MCF. Terlihat bahwa keduanya memiliki bentuk yang speris namun ada secara fisik pada permukaan silika MCF biasa memiliki struktur permukaan yang lebih halus



dibandingkan dengan permukaan silika MCF (9.2T-3D) magnetik yang disebabkan oleh terdapat penambahan nano partikel besi, sehingga membuat strukturnya lebih kasar.

Gambar 1. Silika MCF-(9.2T-3D)(atas) dan silika MCF-(9.2T-3D) magnetik

Hasil analisis EDX kedua material diperlihatkan pada Gambar 2. Terlihat perbedaan komposisi hasil analisis EDX. Pada silika MCF (9.2T-3D) terdapat unsur Si dan O yang merupakan komponen penyusun silika utamanya, sedangkan pada silika MCF (9.2T-3D) magnetik terdapat unsur Fe yang menjadi indikator bahwa terjadi inkorporasi magnetik ke dalam silika MCF (9.2T-3D).

Hasil analisis *vibratic sample magnetometer* (VSM) ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan hasil analisis, diketahui bahwa tingkat magnetisasi dari silika MCF magnetik sebesar 15,13 emu/g, sehingga memiliki sifat kemagnetan cukup baik. Sifat kemagnetan pada silika MCF-Mn adalah superparamagnetik, dimana sifat ini hanya terbentuk pada saat medan magnet berada diluar bahan dan timbul pada partikel berukuran sangat kecil-nano. Semakin kecil ukuran partikel maka jumlah dan batas domain magnetiknya juga semakin sedikit dan nilai magnetisasi saturasinya mengecil (Sylvina, 2019).

Gambar 2. Spektrum EDX: silika MCF (9.2T-3D) (Atas), silika MCF magnetik (Bawah)

Gambar 3. Kurva magnetisasi silika MCF (9.2T-3D) magnetik

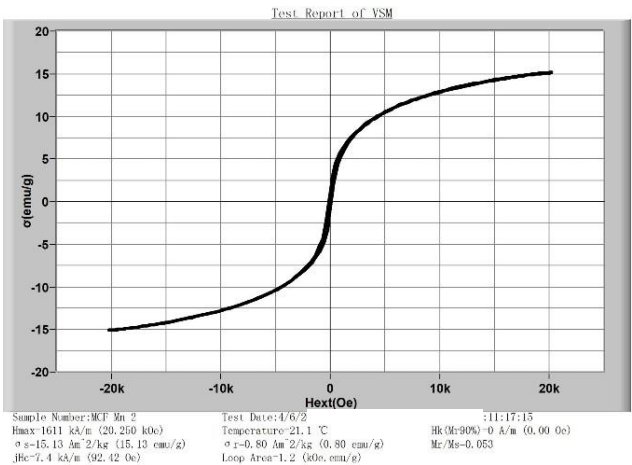
3.2. Imobilitas enzim

Gambar 4-a memperlihatkan pengaruh pH larutan buffer terhadap proses imobilisasi yang menghasilkan kondisi pH maksimum 5,0 dan pH minimum 6,0, namun perbedaan jumlah enzim amobil relative rendah. Pada pH 5,0, enzim amobil yang diperoleh adalah 89,46%,

sedangkan pada pH 6,0 adalah 84,52%. Pada awal proses imobilisasi (pH 4,5), sebanyak 85,08% enzim bebas berhasil diimobilisasi, dan kemudian meningkat ke kondisi jumlah enzim amobil yang optimum. Mateo (2007) menyatakan umumnya imobilisasi enzim dilakukan pada pH netral, namun tidak menutup kemungkinan bahwa imobilisasi juga bisa dilakukan pada pH lebih tinggi atau lebih rendah, tergantung jenis enzim dan support yang digunakan. Pada penelitian ini penyangga silika MCF (9.2T-3D) magnetik memiliki pH cenderung asam (pH 5), sehingga sesuai jika pH optimum yang diperoleh pada proses imobilisasi adalah pada pH 5. Zhao dkk (2012) memperoleh kondisi imobilisasi optimum pada pH 5,5 dengan menggunakan enzim glukoamilase amobil pada permukaan komposit FeSBA-15-PGMA. Penelitian ini memiliki hasil persentase enzim amobil cukup baik.

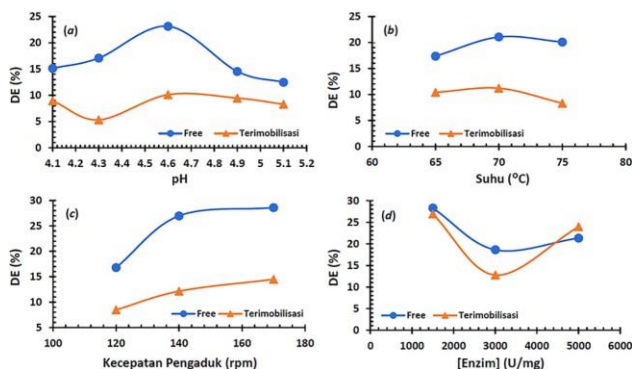
Gambar 4. Effisiensi imobilisasi enzim glukoamilase pada silika MCF magnetic: a) Pengaruh pH Buffer (suhu: 35°C; kecepatan pengadukan: 120 rpm; konsentrasi enzim: 5,5%); b) Pengaruh suhu (pH buffer: 5,5; kecepatan pengadukan: 120 rpm; konsentrasi enzim: 5,5%); c) Pengaruh kecepatan pengadukan (suhu: 35°C; pH buffer: 5,5; konsentrasi enzim: 5,5%); d) Pengaruh konsentrasi enzim (suhu: 35°C; pH buffer: 5,5; kecepatan pengadukan: 120 rpm)

Variasi suhu (Gambar 4-b) menunjukkan enzim amobil pada suhu 30°C sebanyak 80,76%, kemudian meningkat pada suhu 35°C dengan enzim amobil



sebanyak 84,84%. Kemudian, jumlah enzim amobil cenderung turun jika suhu yang digunakan lebih besar. Semakin tinggi suhu, semakin sedikit jumlah enzim amobil. Hal ini disebabkan semakin tinggi suhu, maka pergerakan enzim semakin cepat yang dapat melepaskan ikatan-ikatan yang telah terbentuk (Mateo, 2007). George dan Sugunan (2014) dan Zhao dkk (2012) melakukan imobilisasi pada suhu 30°C untuk mencegah denaturasi enzim pada saat preparasi. Salah satu sifat enzim adalah tidak tahan dengan suhu tinggi karena dapat mengakibatkan denaturasi enzim.

Gambar 4-c memperlihatkan variasi kecepatan pengadukan yang memiliki tren cenderung naik, dengan



maksimum pada 120 rpm dan minimum pada 100 rpm. Pada 120 rpm, enzim amobil sebanyak 89,46%, sedangkan 100 rpm menghasilkan 65,49% enzim amobil. Metode imobilisasi yang digunakan pada penelitian ini adalah adsorpsi di mana enzim diikat secara random pada permukaan silika MCF (Nisha dkk, 2012). Metode ini tergolong mudah dan murah serta memungkinkan enzim tetap memiliki aktivitas yang tinggi. Namun kelemahannya adalah ikatan yang terjadi antara enzim dan support lemah sehingga enzim yang sudah terimobilisasi mudah terlepas kembali.

Gambar 4-d menunjukkan tren naik, dengan konsentrasi enzim yang maksimum pada 5.5%, enzim yang amobil sebanyak 89,46%, sedangkan pada konsentrasi 1% enzim yang terimobilisasi sebanyak 65,24%. Pada konsentrasi enzim $\geq 6\%$, jumlah enzim amobil turun menjadi $\pm 85\%$. Hal ini menunjukkan bahwa saat konsentrasi enzim 6% keatas, permukaan MCF magnetik sudah jenuh oleh enzim, sehingga peningkatan jumlah enzim glukoamilase yang dimasukkan sudah tidak terpengaruhi jumlah enzim yang terimobilisasi.

3.3. Hidrolisis pati kentang

Gambar 5-a sampai 5-f memperlihatkan efek faktor hidrolisis terhadap nilai dekstrosa ekivalen yang dihasilkan dan reusability biokatalis. Gambar 5-a menunjukkan efektivitas enzim glukoamilase amobil dan bebas dalam hidrolisis pati kentang pada rentang pH 4,1-5,1. Perubahan pH memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai dekstrosa ekivalen (DE). Pada enzim glukoamilase amobil dengan pH 4,6 didapatkan nilai DE sebanyak 10,10%, sedangkan pada pH 5,1 didapatkan persen dekstrosa sebanyak 8,29%. Enzim glukoamilase bebas dengan pH 4,6 didapatkan nilai DE sebanyak 23,13%, sedangkan pada pH 5,1 didapatkan DE sebanyak 12,48%. Persen dekstrosa yang didapatkan pada rentang pH 4,3-4,6 tidak menunjukkan perubahan yang terlalu besar, yaitu hanya sekitar 5%. Oleh karena itu, pH 4,3-4,6 merupakan rentang pH optimum glukoamilase pada proses hidrolisis pati kentang. Hal ini sesuai dengan teori dalam Novo's Handbook of Practical Biotechnology yang menyatakan bahwa enzim glukoamilase bekerja pada kondisi pH 4-

4,6. Milosavic dkk (2007) pada penelitiannya mengenai hidrolisis pati menggunakan enzim glukoamilase amobil memperoleh pH optimum pada pH 4,5.

Gambar 5. Efek faktor proses hidrolisis pati kentang: a) Pengaruh pH (kecepatan pengadukan: 140 rpm, suhu: 70°C, konsentrasi enzim: 3000 U/mg, konsentrasi pati: 5%); b) Pengaruh suhu (pH buffer: 4,6, kecepatan pengadukan: 140 rpm, konsentrasi enzim: 3000 U/mg, konsentrasi pati: 5%); c) Pengaruh kecepatan pengadukan (pH buffer: 4,6, suhu: 70°C, konsentrasi enzim: 3000 U/mg, konsentrasi pati: 5%); d) Pengaruh konsentrasi enzim (pH buffer: 4,6, suhu: 70°C, kecepatan pengadukan: 140 rpm, konsentrasi pati: 5%)

Gambar 5-b menunjukkan efektivitas enzim glukoamilase amobil dan bebas pada variasi suhu proses hidrolisis pati kentang. Untuk enzim glukoamilase amobil dan bebas, tren parabola yang terbentuk. Pada enzim glukoamilase amobil, temperatur yang menghasilkan DE maksimum adalah 70°C sebanyak 11,19% dan minimum pada 75°C sebanyak 8,31%. Enzim glukoamilase bebas menghasilkan DE maksimum (21,04%) pada 70°C, namun suhu 65°C menghasilkan DE minimum (17,37%). Suhu memberikan dampak besar pada aktivitas enzim amilase. Umumnya enzim tidak memiliki aktivitas optimal pada suhu rendah. Hal tersebut dikarenakan reaksi yang melibatkan enzim memerlukan suatu pemanasan terkontrol yang akan menyediakan energi aktivasi yang cukup untuk memulai reaksi. Kenaikan suhu pada reaksi enzimatik akan meningkatkan energi kinetik molekul yang bereaksi, sehingga mempercepat tumbukan antar molekul, namun suhu yang terlalu tinggi akan menyebabkan protein pada enzim terdenaturasi dan kehilangan aktivitasnya. Pada suhu optimum, tumbukan antar molekul terjadi sangat efektif tanpa terjadinya denaturasi protein. Pada enzim glukoamilase amobil dan bebas, setelah suhu maksimum 70°C, aktivitas enzim langsung menurun yang mengindikasikan bahwa enzim mengalami denaturasi, sehingga kemampuan enzim dalam menghidrolisis pati turun secara signifikan. Suhu optimum yang didapat sedikit berbeda dengan penelitian-penelitian terdahulu. George dan Sugunan (2014) menghidrolisis pati menggunakan glukoamilase amobil pada silane modified mesoporous silica dan glutaraldehyde modified mesoporous silica pada rentang suhu 10-60°C dan memperoleh suhu optimum 60°C. Zhao dkk (2012) memperoleh suhu optimum 55-65°C dari hasil hidrolisis pati dengan enzim amobil pada FeSBA-15.

Gambar 5-c menunjukkan efektivitas enzim glukoamilase amobil dan bebas pada variasi kecepatan pengadukan. Kedua jenis enzim menghasilkan kecepatan pengadukan dan nilai DE maksimum pada 170 rpm dan minimum pada 120 rpm. Enzim amobil menghasilkan DE maksimum 14,49% dan minimum

8,48%, sedangkan enzim glukoamilase bebas, nilai dekstrosa maksimum 170 rpm adalah 28,60% dan minimum pada 100 rpm sebesar 16,78%. Pada kecepatan pengaduk 170 rpm, kontak enzim dan substrat terjadi lebih tinggi, sehingga DE tertinggi diperoleh. Terdahulu, kecepatan pengadukan yang digunakan sedikit berbeda. Zhao dkk (2012) dan Sharifa dkk (2009) menggunakan kecepatan pengadukan optimum 120 dan 150 rpm, namun bahan penyangga yang digunakan berbeda, sehingga kecepatan pengadukan juga berbeda.

Gambar 5-d menunjukkan efek variasi konsentrasi enzim. Pada enzim glukoamilase amobil, konsentrasi enzim yang menghasilkan dekstrosa maksimum berada pada konsentrasi 1500 U/mg sebanyak 26,93%, namun konsentrasi 3000 U/mg menghasilkan DE minimum sebesar 12,78%. Enzim glukoamilase bebas menghasilkan dekstrosa maksimum pada konsentrasi 1500 U/mg sebanyak 28,31% dan DE minimum pada konsentrasi 3000 U/mg sebanyak 18,34%. Pada pembuatan enzim terimobilisasi ini digunakan metode adsorpsi, yang menghasilkan enzim amobil yang memiliki sisi aktif yang random atau tidak berada pada konformasi terbaik sehingga sulit untuk mengikat atau mengolah substrat tersebut. Baskar dkk (2015) mendapatkan konsentrasi enzim optimum sebesar 1 mg/mL pada konsentrasi pati 3% dengan konsentrasi glukosa 42,98% dalam waktu 80 menit.

4. Kesimpulan

Faktor-faktor operasi proses imobilisasi dan hidrolisis memiliki pengaruh yang signifikan dimana hasil persentase enzim amobil adalah cukup baik. Efisiensi imobilisasi maksimum yang dicapai adalah sebesar 89,46% yang diperoleh pada kondisi optimum faktor pH larutan buffer 5,0, suhu operasi 35°C, kecepatan pengadukan 120 rpm, dan konsentrasi enzim suplai sebesar 5,5%. Kondisi optimum proses sakarifikasi pati kentang oleh enzim glukoamilase amobil pada penyangga silika MCF-(9.2T-3D) magnetik didapatkan pada suhu 70°C, kecepatan pengadukan 170 rpm, pH buffer asetat 0,1 M 4,6, dan konsentrasi enzim 1500 U/mg dimana nilai DE optimum adalah 26,93%.

Daftar Pustaka

Antony, N., Balachandran, S., Mohanan, P.V. (2016). *Immobilization of diastase α -amylase on nano zinc oxide*. Food Chem. 211: 624-630

Baskar, G., Banu, N.A., Leuca, G.H., Gayathri, V., Jeyashree, N. (2015). *Magnetic immobilization and characterization of α -amylase as nanobiocatalyst for hydrolysis of sweet potato starch*. Biochem. Eng. J. 102:18-23.

Bellino, M.G., Regazzoni, A.E., Solerillia, G.J.A.A. (2010). *Amylase-functionalized mesoporous silica thin films as robust biocatalyst platforms*. ACS Appl. Mat. Interfaces 2: 360-365

Çiğil, B.A., Çakmakç, E., Daniş, O., Demir, S., Kahraman, M.V. (2013). *Alpha-amylase immobilization on modified polyimide material*. Chem. Eng. Trans. 32:1687-1692.

Continuous Starch Hydrolysis in a Membrane Reactor", Biochem. Eng. J.,

Controlled Fe_3O_4 nanoparticles , Journal Alloys and Compound

core shell microcapsule. Biomaterials 25 (2004) 1937-1945 Technol.

Dragomirescu, M., Vintila, T., Preda, G., (2012). *Influence of immobilization on biocatalytic activity of a microbial (Bacillus amyloliquefaciens) alpha-amylase*. Roman. Biotechnol. Lett. 17(3): 7252-7258.

George R, Sugunan S, 2014. *Kinetic and thermodynamic parameters of immobilized glucoamylase on different mesoporous silica for starch hydrolysis: A comparative study*. J. Mol. Cat. B: Enzymatic. 106:81-89

George, R., Gopinath, S., Sugunan, S. (2013). *Improved stabilities of immobilized glucoamylase on functionalized mesoporous silica synthesized using decane as swelling agent*. Bull. Chem. React. Eng. Catal. 8:70-76.

Hermida, L., Abdullah, A.Z., Mohamed, A.R. (2013). *Nickel functionalized mesostructured cellular foam (MCF) silica as a catalyst for solventless deoxygenation of palmitic acid to produce diesel-like hydrocarbons*. In: Materials and processes for energy: Communicating current research and technological development, Mendez-Vilas, A. (ed), Formatex Research Center C/ Zurbarán, Badajoz Spain, pp:312-319. ISBN: 978-84-939843-7-3

Hisamatsu, K., Shiomi, T., Matsuura, S., Nara, T.Y., Tsunoda, T., Mizukami, F., Sakaguchi, K. (2012). *α -amylase immobilization capacities of mesoporous silicas with different morphologies and surface properties*. J. Por. Mat. 19:95-102.

Khan, M.J., Husain, Q., Azam A. (2012). *Immobilization of porcine pancreatic α -amylase on magnetic Fe_2O_3 nanoparticles: Applications to the hydrolysis of starch*. Biotechnol. Bioproc. Eng. 17:377-384.

Mateo, C., Palomo, J.M, Fernandez-Lorente, G, Guisan, J.M & F. Lafuente, R. 2007. *Improvement of enzyme activity, stability and selectivity via immobilization techniques*. Enzyme and Microbial Technology, vol. 40, pp. 1451-1463.

Materials and processes for energy: communicating current research and

Milosavić, N.B., Prodanović, R.M., Jovanović, S.M., Vujčić, Z.M. (2007). *Immobilization of glucoamylase via its carbohydrate moiety on macroporous poly(GMA-co-EGDMA)*. Enzy. Microb. Technol. 40:1422-1426.

Nisha S, Arun-Karthick S, Gobi N. 2012. *A Review on Methods, Application and Properties of Immobilized Enzyme*. Chem. Sci. Rev. Lett. 1(3):148-155

Pandya, P.H., Jasra, R.V., Newalkar, B.L., Bhatt, P.N. (2005). *Studies on the activity and stability of immobilized α -*

- amylase in ordered mesoporous silicas. *Micropor. Mesopor. Mat.* 77:67-77.
- Qiu, G., Zhu, B., Xu, Y. (2004). α -amylase immobilized by Fe_3O_4 /poly(styrene-co-maleic anhydride) magnetic composite microspheres: Preparation and characterization. *J. Appl. Polym. Sci.* 95: 328-335.
- Schmidt-Winkel, P., Lukens, W.W, Yang, P, Margolese, D.L., Lettow, J.S, Ying, J.Y & Stucky, G.D. 2000. Microemulsion templating of siliceous mesostructured cellular foams with well-defined ultralarge mesopores. *Chemical Materials*, vol. 12, pp. 686-696.
- Soleimani, M., Khania, A., Najafzadeh, N. (2012). α -amylase immobilization on the silica nanoparticles for cleaning performance towards starch soils in laundry detergents. *J. Mol. Catal. B: Enzymatic* 74:1-5.
- Swarnalatha V, Esther RA, Dhamodharan R. 2013. Immobilization of α -amylase on gum acacia stabilized magnetite nanoparticles, an easily recoverable and reusable support. *J. Mol. Catal. B: Enzymatic*. 96:6-13
- Szymanska, K., Bryjak, J., Mrowiec-Białon, J., Jarzebski, J.B. (2007). Application and properties of siliceous mesostructured cellular foams as enzymes carriers to obtain efficient biocatalysts. *Micropor. Mesopor. Mat.* 99:167-175.
- Usman, M.A., Ekwueme, V.I., Alaje, T.O., Afolabi, M.T., Bolakale, S.O. (2013). Immobilization of α -amylase on mesoporous silica KIT-6 and palm wood chips for starch hydrolysis. *Chem. Proc. Eng. Res.* 9: 7-14.
- Wang, J., Zhao, G., Li, Y., Liu, X., Hou, P. 2013. Reversible immobilization of glucoamylase onto magnetic chitosan nanocarriers. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 97:681–692
- Zhao G, Wang J, Li Y, Chen X, Liu Y, 2011a, *Enzymes Immobilized on Superparamagnetic Fe_3O_4 @Clays Nanocomposites: Preparation, Characterization, and a New Strategy for the Regeneration of Supports*, *J. Phys. Chem. C*, 115:6350-6359
- Zhao, G., Li, Y., Wang, J., Zhu, H. (2011b). Reversible immobilization of glucoamylase onto magnetic carbon nanotubes functionalized with dendrimer. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 91: 591-601.
- Zhao, G., Wang, J., Li, Y., Chen, X., Liu, Y. (2011c). *Enzymes immobilized on superparamagnetic Fe_3O_4 @clays nanocomposites: Preparation, characterization, and a new strategy for the regeneration of supports*. *J. Phys. Chem. C* 115: 6350-6359.