

Efek Manipulasi pH pada Aktivitas Enzim Selulase Bakteri *Bacillus subtilis* Strain FNCC 0059 dalam Mendegradasi Selulosa

Effects of pH Manipulation on the Activity of the Cellulase Enzyme Bacteria Bacillus subtilis Strain FNCC 0059 in Degrade Cellulosa

Ismi Nurul Kartika *, Muslimin Ibrahim

Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Surabaya

*e-mail: isminkartika@gmail.com

Abstrak. Selulase merupakan enzim yang mempunyai fungsi penting dalam mengubah bahan limbah organik selulosa. Selulase merupakan kelompok enzim yang minimal terdiri dari tiga enzim yaitu endoglukonase, eksoglukonase dan β -glukonase yang bekerja sinergis supaya dapat mendegradasi selulosa menjadi glukosa. Glukosa tersebut digunakan sebagai sumber karbon dan nutrisi pertumbuhan bakteri. Enzim selulase kasar termasuk enzim ekstraseluler yang didapatkan pada isolat bakteri selulolitik. Bakteri yang berpotensi memproduksi enzim selulase ialah salah satunya *Bacillus subtilis*. Bakteri ini dapat diisolasi dari air dan tanah. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan pH optimal aktivitas enzim selulase *B. subtilis*. Penelitian menggunakan lima perlakuan pH (5, 6, 7, 8, dan 9) pada suhu 37°C dengan lima ulangan dan 25 sampel perlakuan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL). Aktivitas enzim selulase diukur bersumber pada kandungan gula reduksi dengan metode asam 3,5 - dinitrosalisilat (DNS). Data yang diperoleh dianalisis menggunakan Anova satu arah. Apabila berbeda nyata maka dilanjutkan dengan uji Duncan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *B. subtilis* secara kualitatif menghasilkan zona bening yaitu sebesar 0,35 mm. Hasil Anova satu arah menunjukkan nilai signifikan terhadap perlakuan variasi pH namun setelah diuji Duncan taraf 5% perlakuan variasi pH tidak berpengaruh secara nyata. Kesimpulan dari penelitian ini yaitu manipulasi pH tidak berpengaruh terhadap aktivitas selulase. Implikasi dari penelitian ini adalah *B. subtilis* strain FNCC 0059 dapat dimanfaatkan untuk membantu memecah sumber karbon selulosa menjadi glukosa.

Kata kunci: aktivitas enzim; *Bacillus subtilis*; pH

Abstract. Cellulase is an enzyme that has an important function in converting cellulose. Cellulase is a group of enzyme that at least consists of three enzyme, namely endogluconase, exogluconase and β -gluconase which work synergistically to degrade cellulose into glucose. Glucose is used as a source of carbon and nutrient to grow bacteria. Crude cellulase include extracellular enzyme found in cellulolytic bacterial isolates. One of the bacteria that has the potential to produce cellulase is *Bacillus subtilis*. These bacteria can be isolated from water and soil. This study aims to find the optimal pH of cellulase activity of *B. subtilis*. The study used five pH treatments (5, 6, 7, 8, and 9) at 37 ° C with five replications and 25 treatment samples using a completely randomized design (CRD). The activity of the cellulase was measured based on the reducing sugar content using the 3,5 - dinitrosalicylic acid (DNS) method. The obtained data were analyzed using one way Anova. If it is significantly different then proceed with the Duncan test. The results showed that *B. subtilis* qualitatively produced clear zone of 0.35 mm. One way ANOVA results show significant value to the treatment of pH variation, but for the Duncan of 5% test show the different in the pH value treatments did not significant. The conclusion of this study is that pH manipulation has no effect on cellulase activity. This research implied that *B. subtilis* strain FNCC 0059 can be used to help break down carbon sources of cellulose into glucose.

Kata kunci: activity enzyme; *Bacillus subtilis*; pH

PENDAHULUAN

Enzim sangat diperlukan dalam industri, sehingga kebutuhan enzim semakin pesat setiap harinya, sesuai dengan kemajuan industri yang mengaplikasikan enzim, teknologi fermentasi, dan rekayasa genetika (Purnawan *et al.*, 2015). Enzim merupakan protein yang berperan sebagai katalis

dalam proses biokimia (Hasibuan *et al.*, 2017). Kinerja enzim dalam mempercepat reaksi sebesar 10^8 sampai dengan 10^{11} kali lebih cepat dibandingkan jika tanpa enzim (Poedjiadi dan Supriyanti, 2006). Pengolahan limbah-limbah organik tidak harus dilakukan dengan cara mengaplikasikan enzim saja, tetapi sebaiknya untuk mempercepat proses, maka pada limbah organik tersebut terkandung mikroorganisme indigenusnya.

Enzim selulase termasuk enzim ekstraseluler yang dihasilkan di dalam sel dan dikeluarkan ke media tumbuhnya untuk mendegradasi senyawa polimer (Aryani, 2012). Enzim selulase merupakan enzim kompleks yang terdiri dari tiga komponen enzim yaitu endoglukanase, eksoglukanase, dan β -glukosidase yang bekerja sama untuk menghidrolisis selulosa tidak larut menjadi glukosa (Putri, 2016).

Produksi enzim selulase secara *in vitro* menggunakan media *Carboxy Methyl Cellulosa* (CMC) karena media tersebut mengandung selulosa yang digunakan sebagai substrat pada reaksi enzimatik (Meryandini *et al.*, 2010). Menurut Alam *et al.* (2014) CMC dengan konsentrasi 1% merupakan substrat terbaik dalam menginduksi sintesis enzim selulase ekstraseluler secara optimum.

Selulase dapat berasal dari bakteri selulolitik dan fungi. Bakteri selulolitik melakukan hidrolisis kompleks selulosa menjadi glukosa sederhana (Nurrochman, 2015). Kirk dan Othmer (2002) menyatakan bahwa selulase mempunyai kegunaan dalam dunia perindustrian, salah satunya dipakai dalam bidang tekstil, pakan ternak, produksi etanol dan digunakan dalam pembaharuan kertas lama menjadi kertas baru.

Nababan *et al.*, (2019) menyatakan bahwa biodegradasi limbah di lingkungan oleh mikrobia melibatkan serangkaian aktivitas enzimatik. Pemanfaatan enzim yang dihasilkan dari bakteri, lebih banyak dipergunakan bila dibandingkan dengan enzim dari tanaman atau hewan karena pertumbuhan bakteri yang cepat dan mudah. *Bacillus subtilis* berpotensi dalam memproduksi enzim selulase. Penelitian Saraswati *et al.*, (2012) menunjukkan *B. subtilis* terbukti menghasilkan enzim selulase yang diisolasi berasal dari kotoran sapi sebesar 32,48 U/mL. Hasil penelitian dari Sholihati *et al.*, (2016) membuktikan bahwa *B. subtilis* juga menghasilkan enzim selulase sebesar $4,3661 \times 10^{-3}$ U/mL.

Aktivitas enzim dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain pH, suhu, konsentrasi substrat, konsentrasi enzim serta keberadaan inhibitor (Nelson dan Cox, 2005). Derajat keasaman (pH) merupakan faktor utama yang harus diketahui, karena setiap enzim akan berfungsi secara optimal pada pH tertentu. Murrya *et al.*, (2003) menyatakan bahwa sedikit pergeseran nilai pH dari pH optimum maka akan menyebabkan perubahan besar pada reaksi yang dikatalis enzim, dengan begitu penelitian tentang aktivitas enzim selulase yang diperoleh dari *B. subtilis* perlu dikaji lebih lanjut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pH optimum untuk aktivitas enzim selulase yang dihasilkan oleh isolat *B. subtilis* strain FNCC 0059 yang dinilai secara kualitatif berdasarkan zona bening dan dilanjutkan dengan pengujian menggunakan metode DNS berdasarkan variasi pH.

BAHAN DAN METODE

Bagian Pembuatan media dan proses berikutnya dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi, Jurusan Biologi FMIPA, Universitas Negeri Surabaya. Pertama, pembuatan media *nutrien agar* (NA) ditimbang 2,3 g lalu diecerkan menggunakan akuades steril (Rahayu, 2014). Selanjutnya, media selulolitik dibuat dengan komposisi terdiri dari bakto agar 1,5 g, pepton 0,2 g, CMC 0,05 g, NaCl 0,1 g, yeast ekstrak 0,2 g, CaCl₂ 0,01 g dan MgSO₄.7H₂O 0,01 g dan diencerkan menggunakan akuades steril. Kemudian, peremajaan *B. subtilis* dilakukan di dalam LAF (*Laminar Air Flow*) secara aseptik dengan menyentuhkan ose ke dalam biakan murni lalu digoreskan pada media *nutrien agar* miring. Isolat bakteri diinkubasi selama kurun waktu 24 jam menggunakan inkubator dengan suhu 30° C (Sholihati, 2016).

Penentuan aktivitas enzim selulase secara kualitatif dilakukan dengan mengamati zona bening pada media CMC Agar. Sebanyak 10 μ L isolat bakteri *B. subtilis* ditumbuhkan dengan cara diteteskan di atas *paper disk* yang diletakkan di atas media CMC Agar kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Setelah inkubasi, pada cawan tersebut diteteskan pewarna *congo red* selama 30 menit lalu dicuci dengan NaCl 1 M, pembilasan dengan larutan NaCl 1 M, agar memperjelas zona bening yang terbentuk didalam isolat bakteri sehingga lebih mudah diamati. Zona bening yang terbentuk menunjukkan bahwa isolat *B. subtilis* tersebut mampu menghasilkan enzim ekstraseluler (Kusumaningrum *et al.*, 2019).

Pembuatan kurva pertumbuhan bakteri dan aktivitas selulase diawali dengan mengambil dua ose *B. subtilis* hasil peremajaan, lalu diinokulasikan ke dalam 150 mL media CMC cair dan diinkubasi

menggunakan *rotary shaker* dengan kecepatan 125 rpm selama kurun waktu 24 jam pada suhu ruang. Inokulum diambil 20 mL dan dipindahkan dalam 150 mL media CMC baru. Selanjutnya inokulum diambil 6 mL, setiap 4 jam sekali dengan interval waktu 0, 4, 8, 12, 16, 20, dan 24 jam dan diukur aktivitas selulasenya, menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 540 nm (Kurniawati *et al.*, 2019).

Produksi ekstrak kasar enzim selulase dan pengujian aktivitas selulase, menggunakan metode *asam 3,5-dinitrosalisilat* (DNS) dilihat dari banyaknya gula reduksi yang dihasilkan oleh substrat (Hidayat, 2005). Pemanenan enzim kasar membutuhkan satu ml medium kultur lalu disentrifugasi selama 15 menit pada kecepatan 5000 rpm pada suhu 4°C (Irawati, 2016). Setelah itu, sebanyak 1 ml supernatan hasil sentrifugasi dipindahkan ke dalam tabung reaksi dan menambahkan 1 ml substrat CMC 1% dengan masing-masing tambahan 1 ml buffer sitrat 0,05 M pH 5, 1 ml buffer sitrat fosfat 0,05 M pH 6, 1 ml buffer fosfat 0,05 M pH 7, 1 ml buffer Tris-HCL 0,05 M untuk pH 8 dan 9 (Chasanah *et al.*, 2013). Kemudian dilakukan inkubasi pada suhu 37°C selama 60 menit, setelah inkubasi ditambahkan 1 ml KNa-tatrat 40% dan 1 ml reagen DNS lalu selanjutnya dihangatkan menggunakan *water bath* pada suhu 250 C selama 15 menit. Aktivitas enzim selulase diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 540 nm (Hidayat, 2005). Pengujian aktivitas enzim dengan metode DNS memperoleh nilai absorbansi konsentrasi glukosa dalam setiap sampel. Konsentrasi satu unit aktivitas enzim diperoleh sebagai jumlah µmol produk glukosa hasil degradasi enzim (Putri, 2016). Selanjutnya, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

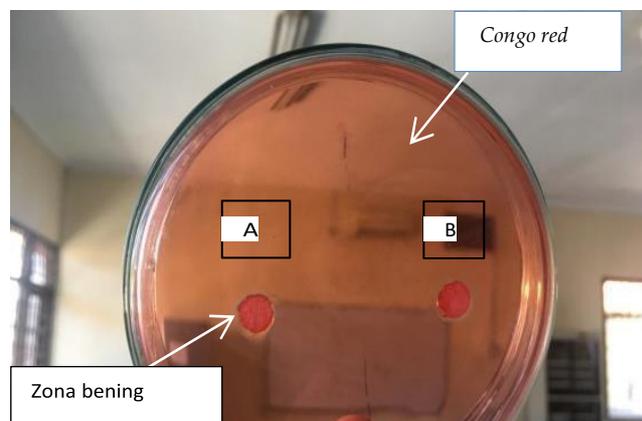
$$AE = \frac{C}{BM \text{ glukosa}} \times \frac{H}{E}$$

Keterangan :

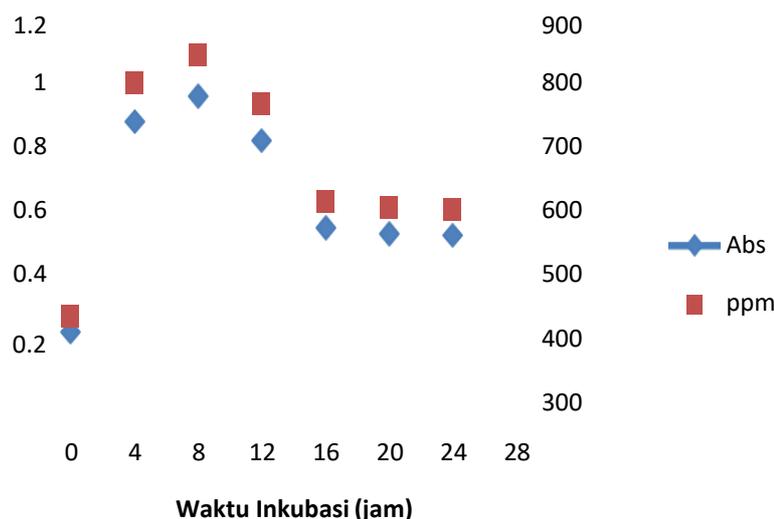
- AE = Aktivitas enzim (Unit/mL)
- BM = Berat molekul (180 g/mol)
- C = Konsentrasi glukosa
- H = Volume total substrat (mL)
- E = Volume enzim (mL)

HASIL

Gambar 1. menunjukkan data uji konfirmasi *B. subtilis* strain FNCC 0059 secara kualitatif berupa zona bening pada cawan petri. Diameter zona bening terbentuk di sekitar koloni *B. subtilis* diukur menggunakan jangka sorong dan dihitung menggunakan rumus Indeks Selulolitik (IS). Dalam meningkatkan indeks selulolitik dilakukan penambahan waktu dalam menginkubasi bakteri, sehingga dapat mendegradasi lebih banyak substrat CMC. Hasil uji kualitatif menghasilkan indeks selulolitik sebesar 0,35 mm pada lama inkubasi 24 jam (Gambar 1).



Gambar 1. Uji Kualitatif Bakteri *B.subtilis* stelah diberi pewarna *congo red*



Gambar 2. Kurva pertumbuhan *B. subtilis*

Pembuatan kurva pertumbuhan *B. subtilis* dibutuhkan untuk mengetahui waktu yang tepat untuk memproduksi enzim selulase. Kurva pertumbuhan diperoleh dengan membuat plot antar waktu inkubasi, densitas optik yang menyatakan jumlah sel yang sebelumnya dibuat kurva standart, sehingga cara ini digunakan untuk memperkirakan jumlah atau massa sel secara tidak langsung (Irawati, 2016). Berdasarkan kurva pertumbuhan yang telah diperoleh hasil tertinggi dari pertumbuhan bakteri terjadi pada delapan jam setelah inokulasi. Pada delapan jam setelah inokulasi didapatkan nilai densitas optik dan nilai produktivitas gula reduksi dari *B. subtilis* 0,978 dan 0,307 ppm. Kurva pertumbuhan digunakan sebagai waktu pemanenan enzim saat proses produksi enzim selulase. Pertumbuhan *B. subtilis* (Gambar 2.) ditandai dengan meningkatnya nilai densitas optik dan nilai produktivitas gula reduksi tertinggi seiring dengan meningkatnya lama waktu inkubasi.

Tabel 1. Hasil analisis pengaruh pH terhadap enzim selulase dalam substrat CMC

Perlakuan pH	Aktivitas Enzim (Unit/mL)*
5	0,047ab
6	0,040ab
7	0,056ab
8	0,070ab
9	0,038ab

*notasi huruf sama menunjukkan tidak adanya perbedaan.

Berdasarkan data yang telah dihasilkan pH optimal untuk aktivitas optimum ekstrak kasar enzim selulase adalah pada pH 8 dengan aktivitas enzim sebesar 0,070 Unit/mL. Hasil analisis statistik pada Tabel 1. yang menunjukkan tidak adanya pengaruh terhadap antar masing-masing perlakuan variasi pH.

PEMBAHASAN

Pengujian enzim secara semi kualitatif oleh bakteri *B. subtilis* dilakukan pada media selulolitik. Pengujian enzim secara kualitatif bertujuan untuk mengetahui enzim yang dihasilkan *B. subtilis* dengan melihat zona bening. Menurut Arifin et al. (2019) dengan adanya zona bening maka menunjukkan bakteri tersebut mampu mendegradasi selulosa dalam media pertumbuhannya. Bakteri *Bacillus* dilaporkan menghasilkan berbagai enzim salah satunya adalah selulase. Nilai indeks selulolitik (IP) yang dihasilkan oleh bakteri *B. subtilis* yang telah diinkubasi selama 1 x 24 jam dengan suhu 37oC sebesar 0,35 mm (Gambar 1). Menurut Dar et al. (2015) zona bening dari bakteri selulolitik yang memiliki diameter 4 cm dapat dikategorikan tingkat degradasinya tinggi sedangkan rendah berada pada kisaran 0,1-1,0 cm, dengan demikian tingkat degradasi selulase dari bakteri *B. subtilis* strain FNCC 0059 tergolong rendah. Hal ini disebabkan karena perbedaan strain sehingga setiap bakteri memiliki kemampuan yang berbeda dalam mendegradasi substrat. Terbentuknya zona

bening mengidentifikasi bahwa selulosa sudah menghidrolisis substrat menjadi senyawa yang lebih sederhana (Irawati, 2016).

Penambahan waktu saat melakukan inkubasi memungkinkan bakteri untuk dapat mendegradasi lebih banyak substrat CMC (Meryandini et al. 2009). Hasil data dari penelitian sebelumnya indeks aktivitas selulase yang dimiliki bakteri *Lactobacillus plantarum* dengan nilai sebesar 1,98 mm dengan lama inkubasi 48 jam (Putri, 2016), isolat bakteri *Bacillus circulans* memiliki indeks aktivitas selulase sebesar 1,43 mm dengan inkubasi 48 jam (Irawati, 2016) dan isolat bakteri *Serrenita maracescens* menghasilkan indeks aktivitas selulase sebesar 5,51 mm pada inkubasi \pm 3 minggu yang dilakukan oleh (Kurniawati et al., 2019). IP bisa berbeda dikarenakan spesies yang digunakan berbeda, sehingga tinggi rendahnya IP disebabkan karena perbedaan kemampuan yang berbeda pula dalam menghasilkan mendegradasi substrat CMC (Rosyada, 2015).

Kurva pertumbuhan dari suatu penelitian adalah bagian yang penting karena dapat menggambarkan karakteristik sel bakteri. Perhitungan waktu generasi diperlukan untuk menemukan waktu populasi setiap bakteri dalam jangka waktu yang sama dalam proses metabolisme (Annisa et.al., 2015). Menurut Sharah et al. (2015) densitas optik (OD) pertumbuhan diperlukan agar mengetahui kemampuan bakteri tersebut dalam memperbanyak sel. Pada penelitian ini pertumbuhan *B. subtilis* dibutuhkan untuk menemukan waktu yang tepat untuk pemanenan enzim selulase. Pengukuran pertumbuhan bakteri *B. subtilis* menggunakan spektrofotometer panjang gelombang 540 nm.

Grafik kurva pertumbuhan pada Gambar 2. yang menunjukkan nilai tertinggi pada delapan jam setelah inokulasi. Nilai densitas optik dan produksi glukosa dari bakteri *B. subtilis* sebesar 0,978 dan 0,307 ppm, sehingga digunakan sebagai waktu panen enzim selulase dari kultur bakteri. Pertumbuhan sel pada 0 jam hingga 4 jam menunjukkan fase lag yaitu bakteri tersebut melakukan penyesuaian terhadap lingkungan baru. Pertumbuhan bakteri mengalami perubahan yang signifikan pada empat jam hingga delapan jam menunjukkan bakteri sudah mengalami fase log yaitu akumulasi pertumbuhan yang sangat cepat. Menurut Sonia dan Kusnadi (2015) fase log merupakan tahap dimana sel bakteri pertumbuhannya sangat cepat hingga dua kali lipat dari jumlah semula. Waktu delapan jam sampai dengan 12 jam pertumbuhan bakteri memasuki fase stasioner dimana pada tahap ini laju pertumbuhan sama dengan laju kematiannya. Pada 16 jam sampai 24 jam pertumbuhan bakteri mulai mengalami penurunan jumlah sel disebabkan karena sumber nutrisi untuk pertumbuhan sel mulai habis.

Penelitian yang dilakukan oleh Yang (2014) tentang pertumbuhan *B. subtilis* BY-2, menunjukkan kurva pertumbuhan yang jauh berbeda. Fase log pada bakteri tersebut terjadi pada delapan jam sampai 20 jam lalu fase stasioner terjadi pada waktu 20 jam sampai 39 jam. Perbedaan tersebut dapat terjadi karena perbedaan strain dan bisa dipengaruhi dari beberapa faktor dalam pertumbuhannya (Wahyuningsih dan Zulaika, 2018).

Substrat atau medium sebagai nutrisi dan sumber karbon untuk menunjang pertumbuhan merupakan salah satu faktor dalam mencukupi produktivitas enzim. Jika dalam substrat tersebut kelebihan sumber karbon akan memperlambat tumbuhnya sel bakteri sehingga dapat menurunkan jumlah oksigen dalam substrat tersebut, dengan demikian akan terjadi penurunan produksi selulase (Susanti, 2011). Dalam hal ini semakin lama waktu inkubasinya maka aktivitas enzim semakin menurun. Semakin lama waktu inkubasi menyebabkan produksi glukosa semakin tinggal karena konsentrasi glukosa berbanding lurus dengan waktu inkubasi. Faktor derajat keasaman pH berpengaruh terhadap struktur dan aktivitas enzim. Perubahan pada pH akan menyebabkan denaturasi protein penyusun enzim itu sendiri, oleh sebab itu setiap enzim yang dihasilkan oleh bakteri memiliki pH optimum yang berbeda-beda. Pada data sampel menggunakan berbagai macam pH yang dikerjakan dalam penelitian yaitu 5, 6, 7, 8 dan 9.

Aktivitas enzim yang optimum ditunjukkan pada perlakuan pH 8 dengan nilai aktivitas sebesar 0,070 U/mL (Gambar 3). Meningkatnya aktivitas enzim ditentukan pada gugus aktif rantai samping enzim yang berfungsi sebagai mengikat substrat. Ketika aktivitas enzim mengalami penurunan menunjukkan bahwa terjadi perubahan molekul enzim dengan substrat sehingga diantara keduanya semakin melemah (Purkan et.al., 2015).

Berdasarkan Gambar 3. dapat dilihat terjadi penurunan aktivitas selulase pada pH 5 dengan aktivitas sebesar 0,047 U/mL dan pH 6 dengan aktivitas sebesar 0,040 U/mL. Hal ini disebabkan pada kondisi asam yang rendah terjadi perubahan struktur enzim karena gugus bermuatan ($-NH_3^+$ atau $-COO^-$) yang saling tidak berdekatan mengalami perubahan pada pH berbeda, sehingga akan

berpengaruh pada struktur dasar enzim dan akan berdampak pada penurunan aktivitas enzim (Irawati, 2016).

Kondisi pada pH 7 dengan aktivitas sebesar 0,056 U/mL dan pH 8 dengan aktivitas sebesar 0,070 U/mL, mengalami kenaikan aktivitas enzim dan berhasil dalam mengubah substratnya menjadi unit glukosa sederhana. Pada kondisi pH netral asam amino dapat mengaktifkan sisi aktif enzim dan pada kondisi ini aktivitas enzim meningkat dan kemudian mengalami penurunan aktivitas pada pH 9 sebesar 0,038 U/mL. Hal tersebut dikarenakan pada kondisi basa kemungkinan terjadi proses akumulasi gula reduksi pada ikatan 1,4-D-glycosidic yang terhidrolisis secara acak menyebabkan asam amino penyusun enzim inaktif, sehingga dapat mempengaruhi aktivitas enzimnya (Irawati, 2016). Hasil tersebut sejalan dengan penelitian selulase dari *Bacillus* lainnya, Susanti (2011) menyatakan bahwa beberapa bakteri *Bacillus* dapat menghidrolisis substrat selulase pada rentang pH 4 sampai pH 9. Gozan et al. (2018) melaporkan bahwa aktivitas selulase *Bacillus* sp. optimum pada kisaran pH 4 - pH 8.

Berdasarkan analisis statistik menggunakan uji Anova satu arah menunjukkan signifikan terhadap perlakuan variasi pH. Uji Duncan taraf 5% selanjutnya dilakukan untuk mengetahui adanya perbedaan perlakuan dari masing-masing pH, namun didapatkan hasil perbedaan perlakuan tidak berpengaruh secara nyata. Hal ini dapat diartikan bahwa perlakuan pH yang berbeda-beda belum optimum untuk meningkatkan aktivitas selulase.

SIMPULAN

Simpulan dari hasil penelitian ini adalah *Bacillus subtilis* starin FNCC 0059 secara kualitatif menghasilkan indeks selulolitik sebesar 0,35 mm sehingga tingkat degradasi selulase tergolong rendah. Hasil perlakuan pH yang berbeda-beda belum optimum untuk meningkatkan aktivitas selulase.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam MZ, Manchulur MA dan Anwar MN, 2004. Purification Characterization of Cellulolytic Enzym Producer by the Isolate *Streptomyces omiyaensis*. *Perkist Journal Biology Scientific Vol 7 (10): 1647-1653*.
- Arifin Z, Gunam IBW, Antara NS, dan Setiyo Y, 2019. Isolasi Bakteri Selulolitik Pendegradasi Selulosa dari Kompos. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri Vol 7 (1): 30-37*.
- Aryani SW, 2012. Isolasi dan Karakterisasi Ekstrak Kasar Enzim Selulase dari Kapang Selulolitik *Mucor* sp. Skripsi. Dipublikasikan. Diakses melalui <http://repository.unair.ac.id/25763/1/ARYANI.pdf> pada tanggal 6 Januari 2020.
- Budi KL, Wijanarka, dan Kusdiyantini E, 2018. Aktivitas Enzim Selulase yang dihasilkan oleh Bakteri *Serratia marcescens* pada Substrat Jerami. *Jurnal Biologi Vol 7 (1): 35-42*.
- Chasanah E, Isna RD dan Nisa RM, 2013. Karakterisasi Enzim Selulosa PMP 0126Y dari Limbah Pengolahan Agar. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan Vol 8 (2): 103-114*.
- Dar AM, Pawar KD, Jadhav JP, dan Pandit RS, 2015. Isolation of cellulolytic bacteria from the gastro- intestinal tract of *Achatina fulica* (gastroda : pulmonata) and their evaluation form cellulose biodegration. *International biodeterioration and biodegradation. 98: 73-80*.
- Gozan M, Harahap AF, Bakti CP dan Setyahadi S, 2018. Optimasi Produksi Selulase oleh Bakteri *Bacillus* sp. BPPT CC RK2 dengan Variasi pH dan suhu Menggunakan Metodologi Permukaan Respon. *EDP Sciences (4.0)*.
- Hasibuan MA, Restuhadi F dan Rossi E, 2017. Uji Aktivitas Enzim Selulolitik dari Bekicot (*Achatina fulica*) pada beberapa Substrat Limbah Pertanian. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Pertanian Vol 4 (1): 1-2*.
- Hidayat I, 2005. Pengaruh pH terhadap Aktivitas *Endo- 1,4-β-Glucanase Bacillus* sp. AR 009. *Biodiversitas Vol 6 (40): 242-244*.
- Idiawati N, Harfinda EM dan Arianie L, 2014. Produksi enzim selulase oleh *Aspergillus niger* pada ampas sagu. *Jurnal Natur Indonesia Vol 16 (1): 1-9*.
- Irawati R, 2016. Karakterisasi pH, Suhu dan Konsentrasi Substrat pada Enzim selulase Kasar yang Diproduksi Oleh *Bacillus circulans*. Skripsi. Dipublikasikan. Diakses melalui <http://etheses.uin-malang.ac.id/2864/> pada 20 Desember 2019.
- Kirk RE dan Othmer DF, 2002. Encyclopedia of Chemical Technology. New York : fourth edition. *A Willey Interscience Publication, John Wiley and Sons Co*.
- Kurniawati L, Kusdiyantini E, dan Wijanarka, 2019. Pengaruh Variasi Suhu dan Waktu Inkubasi Terhadap Aktivitas Enzim Selulase dari Bakteri *Serratia marcescens*. *Jurnal Akademika Biologi Vol 8 (1): 1-9*.
- Kusumaningrum A, Gunam IBW, dan Wijaya IMM, 2019. Optimasi Suhu dan pH Terhadap Aktivitas Enzim Endoglukanase Menggunakan *Response Surface Methodology (RSM)*. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri Vol 7 (2): 243-253*.

- Meryandini A, Widosari W, Maranatha B, Sunarti TC, 2010. Isolasi Bakteri Selulolitik dan Karakterisasi Enzimnya. *Jurnal Sains Vol 13 (1):* 33-38.
- Murray RK, Granner DK, Mayes PA dan Rodwell VW, 2003. *Harper's Illustrated Biochemistry. Ed ke-26. San Francisco: McGrawHill.*
- Nababan M, Gunam IBW dan Wijaya IMM, 2019. Produksi Enzim Selulase Kasar dari Bakteri Selulolitik. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri Vol 7 (2):* 190-199.
- Nelson DL dan Cox MM, 2005. *Lehninger Principles of Biochemistry. Ed ke-4. New York: Worth Publisher.*
- Nurrochman F, 2015. Eksplorasi Bakteri Selulolitik dari Tanah Hutan Mangrove Baru, Kretek, Batul Yogyakarta. Skripsi. Dipublikasikan. Diakses melalui <http://eprints.ums.ac.id/33515/1.pdf> pada 13 Januari 2020.
- Purkan, Purnama HD dan Sumarsih S, 2015. Produksi Enzim Selulase dari *Aspergillus niger* Menggunakan Sekam Padi dan Ampas Tebu sebagai Induser. *Jurnal Ilmu Dasar Vol 16 (2):* 95-102.
- Purnawan A, Capriyanti Y, Kurniatin PA, Rahmani N dan Yopi, 2015. Optimasi Produksi Enzim Amilase dari Bakteri Laut Jakarta (*Arthrobacter arilaitensis*). *Jurnal Biologi Indonesia Vol 11 (2):*215-224.
- Putri S, 2016. Karakterisasi Enzim Selulase yang Dihasilkan oleh *Lactobacillus plantarum* Pada Variasi Suhu, pH, dan Konsentrasi Subtrat. Skripsi. Dipublikasikan. Diakses melalui http://etheses.uinmalang.ac.id/3866/1/12620_060.pdf pada 20 Desember 2019.
- Poedjiadi A dan Supriyanti T.F.M, 2006. Dasar-Dasar Biokimia. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Rahayu AG, Haryani Y dan Puspita F, 2014. Uji Aktivitas Selulolitik dari Tiga Isolat Bakteri *Bacillus sp.* Galur Lokal Riau. *Jurnal Online Mahasiswa Vol 1 (2).*
- Saraswati B, Kumar MR, Kumar DJM, Balashanmugan P, Balakumaran MD, dan Kalaichelvan PT, 2012. Cellulase Production by *Bacillus subtilis* Isolated from Cow Dung. *Arch. Appl. Sci. Res. Vol 4 (1):*269-279.
- Sharah A, Karnila R dan Desmelati, 2015. Pembuatan Kurva Pertumbuhan Selulase *Rastrellinger sp.* *Jurnal Online Mahasiswa Vol 2(1).*
- Sholihati AM, Baharuddin M, dan Santi, 2016. Produksi dan Uji Aktivitas Enzim Selulase dari Bakteri *Bacillus subtilis*. *Jurnal Penelitian Al-Kimia: UIN Alauddin Makassar Press.*
- Susanti E, 2011. Optimasi Produksi dan Karakterisasi Sistem Selulase dari *Bacillus circulans* strain Lokal dengan Induser Avicel. *Jurnal Ilmu Dasar Vol 12 (1):* 40-49.
- Susanti EVH, 2003. Isolasi dan Karakterisasi Protease dari *Bacillus subtilis* 1012M15. *Jurnal Biodiversitas Vol 4(1):* 12-17.
- Wahyuningsih N dan Zulaika E, 2018. Perbandingan Pertumbuhan Bakteri Selulolitik pada Media *Nutrien Broth* dan *Carboxy Methyl Cellulose*. *Jurnal Sains dan Seni Vol 7 (2):* 2337-3520.
- Yang W, Fanxu M, Jiayin P, Peng H, Fang F, Li M dan Binyun C, 2014. Isolation and Identification of a Cellulolytic Bacterium from the Tibetan Pig's Intestine and Investigation of its Cellulase Production. *Electronic Journal of Biotechnology EJB T-00045 (6).*

Published: 31 Januari 2021

Authors:

Ismi Nurul Kartika, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya, Jalan Ketintang, Gedung C3 Lt.2 Surabaya 60231, Indonesia, e-mail: isminkartika@gmail.com
 Muslimin Ibrahim, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya, Jalan Ketintang, Gedung C3 Lt.2 Surabaya 60231, Indonesia, e-mail: musliminibrahim@unesa.ac.id

How to cite this article:

Kartika NK, Ibrahim M, 2021. Efek Manipulasi pH pada Aktivitas Enzim Selulase Bakteri *Bacillus subtilis* Strain FNCC 0059 dalam Mendegradasi Selulosa. *LenteraBio; 10(1):* 51-57