

Kombinasi Pektin Kulit Buah Naga dan Enzim PMEs *Bacillus subtilis* dengan Nutrisi Molase sebagai Bahan Baku Pembuatan Biometanol

Combination of Pectin from Dragon Fruit Skin and PMEs from Bacillus subtilis with Molasses as Raw Material for Making Biomethanol

Himas Willya Putri Abdillah^{1*}, Fahda Bilqis Azzahra², Fitri Nur Haliza³, Febyka Rahma Nurlaily⁴,
Dwi Febriani⁵, Indra Kurniawan Saputra⁶

^{1,2,5}Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang

³Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang

⁴Program Studi Pendidikan IPA Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang

⁶Program Studi Bioteknologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang
Jl. Semarang 5 Malang, 65145, Indonesia

*Corresponding author: himaswillya@gmail.com

ABSTRAK

DOI;
[10.30595/jrst.v9i1.21749](https://doi.org/10.30595/jrst.v9i1.21749)

Histori Artikel:

Diajukan:
01/05/2024

Diterima:
11/04/2025

Diterbitkan:
11/04/2025

Ketersediaan bahan bakar fosil yang menipis membutuhkan pengembangan energi baru terbarukan, seperti biometanol. Kulit buah naga dengan kandungan pektin bermetoksil tinggi berpotensi menjadi bahan baku alternatif melalui proses hidrolisis enzimatis. Tujuan dari riset ini yaitu untuk mengetahui kadar metoksil pektin kulit buah naga, mengetahui pengaruh penambahan molase pada media NB terhadap pertumbuhan *Bacillus subtilis*, mengetahui pengaruh penambahan molase pada media NB terhadap aktivitas ekstrak kasar enzim PMEs *Bacillus subtilis*, serta mengkaji potensi metoksil pektin yang dapat dihidrolisis menggunakan enzim PMEs dan menghasilkan biometanol. Tahapan riset meliputi preparasi kulit buah naga, ekstraksi kulit buah naga, analisis kadar metoksil pektin, pembuatan media NB nutrisi molase, pembuatan kurva pertumbuhan *Bacillus subtilis*, produksi ekstrak kasar enzim PMEs *Bacillus subtilis* dengan nutrisi molase, isolasi ekstrak kasar enzim PMEs, dan uji aktivitas ekstrak kasar enzim PMEs. Berdasarkan hasil titrasi, kulit buah naga mengandung gugus metoksil pektin 30,349% tergolong metoksil tinggi. Penambahan nutrisi molase pada media NB *Bacillus subtilis* dapat mempercepat pertumbuhan *Bacillus subtilis* dalam mencapai fase eksponensial. Pertumbuhan *Bacillus subtilis* pada media NB molasses 2,5% mencapai fase eksponensial lebih cepat yaitu 8 jam pertama dengan absorbansi yang lebih tinggi. Sedangkan pertumbuhan *Bacillus subtilis* pada media NB 0% mencapai fase eksponensial pada 10 jam pertama. Kultur *Bacillus subtilis* pada media NB molase 2,5% menghasilkan ekstrak kasar enzim PMEs dengan aktivitas yang lebih baik yaitu 0,668 unit/mL. Enzim PMEs akan meningkatkan sakarifikasi dan meningkatkan hasil pektin yang diekstraksi, sehingga dapat memberikan jalur potensial untuk valorisasi biometanol.

Kata Kunci: Biometanol, Kulit Buah Naga, Enzim PMEs, *Bacillus Subtilis*, Molase

ABSTRACT

The depletion of fossil fuel availability necessitates the development of renewable energy sources, such as biomethanol. With its high methoxyl pectin content, Dragon fruit skin potentially serve as an alternative raw material through enzymatic hydrolysis. This research aims to determine the methoxyl pectin content of dragon fruit skin, examine the effect of molasses addition in NB medium on the growth of *Bacillus subtilis*, assess the

influence of molasses addition in NB medium on the activity of crude PMEs enzyme extract from *Bacillus subtilis*, and evaluate the potential of methoxyl pectin to be hydrolyzed using PMEs enzyme to produce biometanol. The methods included dragon fruit skin preparation and extraction, methoxyl pectin content analysis, preparation of molasses-enriched NB medium, construction of *Bacillus subtilis* growth curves, production of crude PMEs enzyme extract from *Bacillus subtilis* with molasses-enriched nutrition, crude PMEs enzyme extraction, and crude PMEs enzyme activity testing. Based on titration results, dragon fruit skin contains 30.349% methoxyl pectin, classified as high methoxyl. Adding molasses in NB medium accelerates the exponential phase. Growth of *Bacillus subtilis* in NB medium with 2.5% molasses reached the exponential phase more quickly within the first 8 hours, with higher absorbance than the NB medium without molasses, which reached the exponential phase within the first 10 hours. The culture of *Bacillus subtilis* in NB medium with 2.5% molasses produced crude PMEs enzyme extract with better activity, measuring 0.668 units/mL. PMEs enzyme enhances saccharification and increases the extracted pectin yield, thus providing a potential pathway for biometanol valorization.

Keywords: Biometanol, Dragon Fruit Skin, PMEs Enzyme, *Bacillus Subtilis*, Molasses

1. PENDAHULUAN

Energi adalah kebutuhan dasar masyarakat Indonesia saat ini dan kebutuhan ini akan semakin meningkat seiring dengan aktivitas manusia yang terus bertambah. Karena kebutuhan bahan bakar yang terus naik dan kesiapan bahan bakar fosil semakin menipis, akibatnya Indonesia harus mengimpor bahan bakar dari negara lain untuk menutupi kebutuhan energi, sementara pertumbuhan *renewable energy* masih lambat (Xu et al., 2019).

Konsumsi bahan fosil meningkat selama lima tahun terakhir dari 2010 hingga 2020 mencapai 1400 barel per hari pada 2010, 1550 barel per hari pada 2015, dan 1700 barel per hari pada 2020. Namun, ketersediaan bahan fosil menurun mencapai 1000 barel per hari pada 2010, 850 barel per hari pada 2015, dan 800 barel per hari pada 2020 (Ichsan et al., 2022). Bahan bakar fosil yang paling umum digunakan di tingkat rumah tangga adalah LPG.

Permintaan LPG yang terus meningkat menyebabkan kelangkaan. Meskipun bahan baku Pemerintah telah berusaha untuk mengatasi kelangkaan LPG dengan mengimpor bahan bakunya **Tabel 1**, yaitu butana (30%) dan propana (70%) (Sianipar, 2023). Problematika pemenuhan energi ini jelas membutuhkan biaya yang sangat besar baik sekarang maupun di masa depan. Energi baru terbarukan (EBT) yang dicanangkan saat ini dapat mengatasi ketersediaan bahan bakar karena sifatnya yang berkelanjutan.

Salah satu contoh dari EBT adalah biometanol. Dalam **Tabel 2** reaksi dehidrasi metanol, biometanol dapat dikonversi menjadi *dymethyl ether* (DME) (Brunetti et al., 2020). Hal ini karena DME memiliki kepadatan gas, tekanan jenuh, panas spesifik, dan suhu api adiabatik

yang hampir sama dengan LPG (Anggarani et al., 2019).

Tabel 1. Negara asal dan jumlah impor bahan baku LPG Indonesia

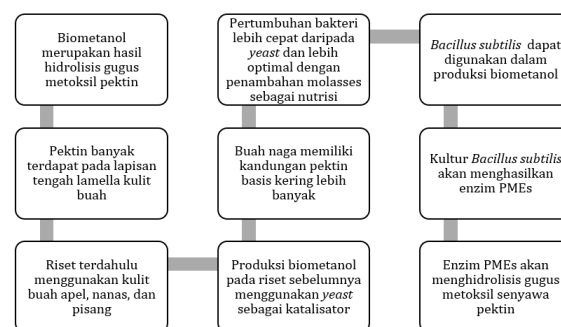
Negara	Berat (ribu kg)	Nilai (ribu USD)
Amerika Serikat	3.780.000	2.410.000
Uni Emirat Arab	1.230.000	792.520
Arab Saudi	935.300	624.550
Qatar	369.490	217.780
Kuwait	141.370	79.000
Bahrain	93.000	51.420
Angola	44.870	27.290
Nigeria	44.000	27.290

Sumber: Badan Pusat Statistik (2020)

Tabel 2. Persamaan sifat fisik DME dan LPG

Aspek	Satuan	DME	LPG
Kepadatan gas	kg/m ³	1.92	2.08
Tekanan jenuh	kg/m.s	0.61	0.63
Panas spesifik	kJ/kg.K	1.43	1.73
Suhu api adiabatik	K	2293	2263

Sumber: (Anggarani et al., 2019)



Gambar 1. State of the Art

Bahan organik, seperti kulit buah naga, dapat digunakan untuk menghasilkan

biometanol. Meskipun buah naga adalah buah musiman, perkebunan dapat menghasilkan buah naga setiap bulan (Krauser et al., 2022). Dalam kulit buah naga terkandung pektin kering sebesar 15-16%, yang dapat bermanfaat untuk pengembangan penelitian (Listyarini et al., 2020). Pektin adalah bahan serat yang terdapat di bagian *middle layer* lamela tumbuhan.

Karena gugus metoksil pektin diesterifikasi dengan gugus asam karboksilat, sehingga senyawa pektin kulit buah naga memuat hasil esterifikasi gugus metoksil atau metil yang tinggi, yaitu > 7,12%. Enzim metilesterase pektin (PMEs) adalah senyawa organik yang diperlukan untuk hidrolisis metoksil pektin. Kultur bakteri *Bacillus subtilis* dapat menjadi sumber enzim PMEs (Alqahtani et al., 2022).

Pertumbuhan *Bacillus subtilis* menjadi lebih baik dengan perlakuan rekayasa bioproses seperti penambahan nutrisi. Nutrisi pendukung pertumbuhannya dapat menggunakan limbah pabrik gula berupa molase (Li et al., 2022). Molase mudah diperoleh karena pabrik gula banyak tersebar di seluruh wilayah Indonesia (Azahra et al., 2022).

Dengan demikian, penelitian "**Kombinasi Pektin Kulit Buah Naga Dan Enzim PMEs *Bacillus subtilis* Dengan Nutrisi Molase Sebagai Bahan Baku Pembuatan Biometanol**" dapat menawarkan solusi dan mendukung program Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) bidang energi bersih dan murah yang dikelola oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). Menurut RIRN tahun 2015, ini juga akan menjadi salah satu fokus penelitian bidang energi.

Riset ini berfokus dalam pengembangan biometanol dari senyawa pektin limbah kulit buah naga. Biometanol diperoleh dengan cara menghidrolisis gugus metoksil pektin limbah kulit buah naga oleh enzim PMEs. Enzim PMEs secara optimal diperoleh dari hasil kultur *Bacillus subtilis* pada media tumbuh NB dengan penambahan nutrisi berupa molase. efektif dan efisien **Gambar 1**.

Berdasarkan latar belakang permasalahan tujuan dari riset ini yaitu (1) untuk mengetahui kadar metoksil pektin kulit buah naga, (2) untuk mengetahui pengaruh penambahan molase pada media NB terhadap pertumbuhan *Bacillus subtilis*, (3) untuk mengetahui pengaruh penambahan molase pada media NB terhadap aktivitas enzim PMEs *Bacillus subtilis*, serta (4) untuk mengkaji potensi metoksil pektin dapat dihidrolisis menggunakan enzim PMEs dan menghasilkan biometanol.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan

Bahan yang digunakan yaitu kulit buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) yang merupakan limbah sisa penjualan jus buah di wilayah sekitar, molase (tetes tebu), *Bacillus subtilis*, HCl 0,35 N, etanol 96%, *aquades*, NaCl, indikator *phenolphthalein*, NaOH 0,1 N, NaOH 0,25 N, serbuk NA, serbuk NB, alkohol 70%, *buffer fosfat* 0,1 M, *buffer asetat*, reagen asam 3,5-dinitrosalisilat, dan asam propionat.

2.2 Tahapan Riset

2.2.1 Preparasi Kulit Buah Naga

Potong kulit buah naga, keringkan menggunakan oven pada suhu 70°C, dan haluskan dengan blender (Fauzan et al., 2022).

2.2.2 Ekstraksi Pektin Kulit Buah Naga

Selama 90 menit, 100 gram serbuk kulit buah naga dilarutkan dengan HCl 0,35 N dalam 1 L. Kemudian, dengan bantuan *magnet stirrer*, plat panas dipanaskan pada suhu 90°C. Setelah itu didinginkan pada suhu ruang dan difiltrasi menggunakan corong Buchner yang disambungkan pada pompa vakum. Setelah analisis filtrat selesai, etanol 96% ditambahkan dengan perbandingan satu per satu dan diaduk sampai tercampur. Filtrat kemudian disimpan selama 24 jam. Setelah 24 jam, endapan pektin disaring berulang kali untuk menghasilkan jumlah pektin yang paling banyak. Selain itu, selama proses filtrasi, untuk menghilangkan sisa asam, pektin dibilas dengan etanol 96%. Setelah itu, pektin dikeringkan lagi pada dalam 40°C selama 8 jam menggunakan. Setelah kering, pektin ditimbang dan bobotnya dicatat (Rahmayulis et al., 2023).

2.2.3 Analisis Kadar Metoksil Pektin

0,1 gram pektin akan dilembabkan dengan 1 mililiter etanol 96%, dilarutkan dalam 20 mililiter akuades bebas CO₂ pada suhu 40°C, dan diaduk selama satu jam untuk melarutkan pektin sehingga tidak ada gumpalan di sisi erlenmeyer. Selanjutnya, 3 tetes indikator *phenolphthalein* (PP) dan 0,2 gram natrium klorida ditambahkan. Setelah dititrasi dengan NaOH 0,1 N yang sudah distandarisasi, warnanya menjadi merah muda.

Untuk memasukkan volume NaOH (titran) ke dalam rumus berat ekuivalen, larutan yang dihasilkan dari analisis berat ekuivalen akan ditambahkan dengan 10 mL NaOH 0,25 N dan diaduk selama satu jam pada suhu ruang dalam erlenmeyer. Setelah itu, 10 mL HCl 0,25 N ditambahkan dan dititrasi dengan NaOH 0,1 N hingga mencapai TAT (Fauzan et al., 2022).

$$KM (\%) = \frac{\text{Vol NaOH} \times 31 \times N \text{ NaOH}}{\text{Massa sampel (mg)} \times 100\%} \quad (1)$$

Keterangan: Nilai 31 = Bobot molekul metoksil;
KM = Kadar Metoksil (%)

2.2.4 Pembuatan Media NB Nutrisi Molase

Serbuk NB sebanyak 0,64 gram dilarutkan pada 80 mL akuades kemudian dipanaskan dengan menggunakan kompor disertai pengadukan hingga homogen. pH larutan tersebut diukur hingga memperoleh pH 6-7. Selanjutnya larutan NB dituangkan pada erlenmeyer dengan masing-masing tabung berisi 40 mL kemudian ditambahkan molase 0% dan 2,5% (b/v) sebanyak 3 kali ulangan (Mihajlovski et al., 2021). Lalu tiap mulut erlenmeyer ditutup dengan kapas, kasa, dan plastik wrap lalu disterilisasi di dalam autoklaf pada temperatur 121° C selama 15 menit.

2.2.5 Pembuatan Kurva Pertumbuhan Bacillus subtilis

Dua ose bakteri *Bacillus subtilis* yang diambil dari regenerasi diinkubasi pada 24 mL media NB. Kemudian, selama 18 jam, diinkubasi menggunakan *shaker incubator* dengan kecepatan 120 rpm dan suhu 35°C. Untuk memulai pembuatan kurva pertumbuhan, 10% inokulum dimasukkan ke dalam 6 erlenmeyer yang berisi media produksi hasil preparasi. Kemudian diinkubasi selama 24 jam dalam *shaker incubator* (Van der Maas et al., 2021).

2.2.6 Produksi Ekstrak Kasar Enzim PMEs Bacillus subtilis dengan Nutrisi Molase

Fase eksponensial pertumbuhan *Bacillus subtilis* dapat diidentifikasi dari kurva pertumbuhan. Kemudian, bakteri inokulum 10% diinkubasi pada media NB nutrisi molase dalam dua erlenmeyer 250 mL, masing-masing berisi 100 mL NB pektin 1% dari hasil preparasi. Kemudian masukkan media ke dalam *shaker incubator* pada suhu 35°C dan kecepatan 120 rpm (Alqahtani et al., 2022).

2.2.7 Isolasi Ekstrak Kasar Enzim PMEs

Setelah melewati masa inkubasi, bakteri *Bacillus subtilis* dimasukkan ke dalam *centrifuge* pada kecepatan 10.000 rpm selama 5 menit pada suhu 4°C. Setelah itu, supernatan diambil (Alqahtani et al., 2022).

2.2.8 Uji Aktivitas Ekstrak Kasar Enzim PMEs

Supernatan yang diperoleh digunakan untuk analisis dan digunakan sebagai enzim kasar. Dalam tabung steril, sekitar 1 mL enzim kasar dan 1 mL pektin 3% dicampur dan diinkubasi selama 15 menit pada suhu 50°C. Setelah inkubasi, 1 mL reagen DNS (asam dinitrosalisilat) ditambahkan untuk

menghentikan reaksi hidrolisis. Setelah itu, campuran dikocok untuk mencampur isinya.

Untuk mengembangkan warna, tempatkan campuran dalam penangas air mendidih selama tiga puluh menit. Selanjutnya, blanko enzim digunakan untuk mengukur absorbansi dengan 540 nm spektrofotometer. Jumlah enzim yang membebaskan 1 mol asam galakturonat per jam dalam kondisi pengujian standar disebut unit aktivitas enzim (Sudeep et al., 2020).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kadar Metoksil Pektin Kulit Buah Naga

Limbah organik, seperti kulit buah naga, dapat digunakan untuk menghasilkan biometanol. Menurut *Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region*, Indonesia berada di peringkat kesembilan di dunia sebagai penghasil buah naga. Produksi buah naga Indonesia pada tahun 2021 sebesar 19.068 ton dan meningkat menjadi 82.544 ton pada tahun 2022 dengan konsumsi buah naga yang meningkat dan mengakibatkan peningkatan limbah kulit buah naga.

Kulit buah naga mengandung senyawa pektin bermetoksil yang berperan dalam penentuan sifat fungsional larutan pektin itu sendiri (Fauzan et al., 2022). Analisis kadar metoksil pektin kulit buah naga dengan metode titrasi diperoleh hasil sebesar 30,349%. Berdasarkan standar IPPA, pektin tergolong bermetoksil tinggi jika >7,12% dan tergolong rendah jika 2,5-7,12%. Kadar metoksil kulit buah naga ini lebih tinggi daripada kulit buah nanas (4,25%), nangka (8,99%), dan jeruk (7,67%) (Silsia et al., 2021).

Karena golongan sisi metil ini dihasilkan dari esterifikasi dengan gugus asam karboksilat, reaksi hidrolisis dapat menghasilkan biometanol dari metil pektin tinggi. Reaksi hidrolisis ini terjadi pada gugus metoksil pektin oleh enzim PMEs. Enzim PMEs akan mendemetilasi sebagian pektin menghasilkan metanol dan asam galakturonat. Pektin yang kurang termetilasi kemudian didepolimerisasi oleh polygalacturonase (PG), menghasilkan pektin dengan rantai yang lebih pendek (Khan et al., 2023).

3.2 Pengaruh Penambahan Molase pada Media NB terhadap Pertumbuhan Bacillus subtilis

Bacillus subtilis adalah bakteri Gram Positif intraseluler yang berbentuk batang, non patogen, dan telah banyak dimanfaatkan sebagai agen alternatif (Mulyani et al., 2017). *Bacillus subtilis* mampu berkembang dengan baik cukup

pada suhu sedang, yaitu 20°C hingga 45°C, sehingga mudah dalam hal penyimpanan. Selain itu, *Bacillus subtilis* hanya membutuhkan waktu 8 jam masa inkubasi dengan suhu 35°C untuk memproduksi enzim PMEs sehingga akan mengurangi biaya produksi (Zabed et al., 2019).

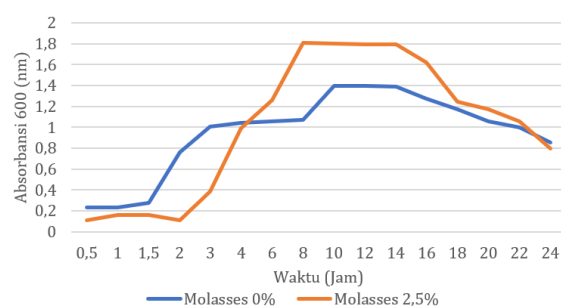
Media kultur *Bacillus subtilis* NB dapat ditambahkan dengan molase sebagai nutrisi. Molase merupakan 2,7% sisa produksi gula tebu terdiri dari glukosa, sukrosa, asam amino, dan mineral (Hidayati et al., 2022). Glukosa pada molase menjadi sumber energi yang bersifat spontan bagi mikroorganisme dan lebih mudah dimakan oleh mikroba, sehingga dapat mempercepat pertumbuhan bakteri dalam mencapai fase eksponensial (Istnaeny et al., 2022). Fase eksponensial menjadi tahap optimal dimana enzim PMEs yang merupakan metabolit sekunder dihasilkan oleh kultur *Bacillus subtilis* yang optimal (Faqih et al., 2023).

Pertumbuhan *Bacillus subtilis* pada media NB molasses 2,5% **Gambar 2** mencapai fase eksponensial lebih cepat yaitu pada 8 jam pertama dengan absorbansi yang lebih tinggi. Sedangkan pertumbuhan *Bacillus subtilis* pada media NB 0% yang mencapai fase eksponensial pada 10 jam pertama. Fase eksponensial adalah tahap dalam kurva pertumbuhan mikroorganisme ketika jumlah sel mikroba bertambah dengan sangat cepat dalam waktu yang konstan.

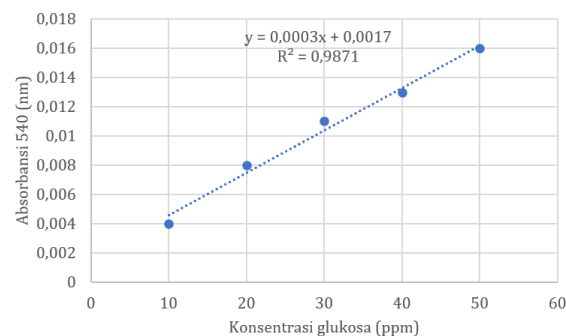
Sel pada fase ini membelah secara berkala dengan laju maksimum, menggandakan jumlahnya pada setiap periode waktu tertentu. Fase ini berlangsung setelah fase adaptasi (lag), saat mikroba sudah menyesuaikan diri dengan lingkungan barunya, dan sebelum fase stasioner, di mana laju pertumbuhan mulai melambat (Mulyani et al., 2017).

3.3 Pengaruh Penambahan Molase pada Media NB terhadap Aktivitas Enzim PMEs *Bacillus subtilis*

Uji aktivitas enzim dimulai dengan kalibrasi alat untuk larutan standar glukosa yang dinyatakan dalam kurva standar glukosa **Gambar 3**. Data hasil pengujian didapatkan persamaan kurva standar glukosa serta harga regresi. Berdasarkan kurva kalibrasi standar didapatkan persamaan $y = 0,0003x + 0,0017$ dan $R^2 = 0,9871$. Persamaan tersebut digunakan untuk menentukan aktivitas enzim PMEs.



Gambar 2. Kurva Pertumbuhan *Bacillus subtilis*



Gambar 3. Kurva Standar Glukosa

Tabel 3. Nilai Aktivitas Ekstrak Kasar Enzim PMEs

Sampel	Aktivitas Ekstrak Kasar Enzim PMEs (unit/mL)	Rerata aktivitas ekstrak kasar enzim PMEs (unit/mL)
Enzim PMEs molase 0%	0,338	0,354 ± 0,006
	0,355	
	0,360	
Enzim PMEs molase 2,5%	0,659	0,668 ± 0,009
	0,668	
	0,677	

Tabel 3 menunjukkan hasil uji aktivitas ekstrak kasar enzim PMEs menunjukkan kultur *Bacillus subtilis* pada media NB molase 2,5% menghasilkan ekstrak kasar enzim PMEs dengan aktivitas yang lebih baik yaitu 0,668 unit/mL. Hal ini membuktikan bahwa dengan penambahan molase 2,5% dapat meningkatkan aktivitas enzim PMEs pada *Bacillus subtilis*.

3.4 Ekstrak Kasar Enzim PMEs *Bacillus subtilis* Menghidrolisis Gugus Metoksil Pektin Menjadi Biometanol

Enzim PMEs merupakan jalan alternatif dan ekonomis untuk hidrolisis pektin dan produksi metanol. Hal tersebut ditinjau dari katalisisnya yang cepat dan sangat selektif. Enzim PMEs bekerja pada pektin dengan memecah ikatan ester dalam struktur polisakarida dan melepaskan molekul metanol (Khan et al., 2023). PMEs adalah enzim yang

memainkan peran penting dalam memodifikasi pektin, suatu kelas polisakarida kompleks di dinding sel tumbuhan.

Enzim-enzim ini mengkatalisis penghilangan gugus metil ester dari pektin, sehingga mengakibatkan perubahan derajat esterifikasi dan akibatnya, sifat fisikokimia polimer. Kehadiran jembatan garam yang dibentuk oleh gugus metil meningkatkan keengganan dinding sel. Dengan demikian, keberadaan PME sangat penting untuk pelarutan dan sakarifikasi yang efisien (yaitu pelepasan gula turunan polisakarida melalui hidrolisis enzimatis) dari jaringan yang kaya pektin, di mana sinergisme antara PME dan enzim lyase pektik lainnya telah diamati. Riset sebelumnya menunjukkan bahwa PME*s* terbukti meningkatkan sakarifikasi dan meningkatkan hasil pektin yang diekstraksi dari residu bit, sehingga memberikan jalur potensial untuk valorisasi biomassa, termasuk biometanol (Kumar et al., 2023)

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil riset menunjukkan bahwa (1) kulit buah naga mengandung metoksil tinggi sebesar 30,349%; (2) penambahan molase pada media NB *Bacillus subtilis* dapat mempercepat pertumbuhan bakteri tersebut dalam mencapai fase eksponensial. Pertumbuhan *Bacillus subtilis* pada media NB molasses 2,5% mencapai fase eksponensial lebih cepat yaitu pada 8 jam pertama dengan absorbansi yang lebih tinggi (3) Enzim PME*s* hasil kultur *Bacillus subtilis* pada media NB molase 2,5% menghasilkan ekstrak kasar enzim PME*s* dengan aktivitas yang lebih baik yaitu 0,668 unit/mL; (4) enzim PME*s* ini akan meningkatkan sakarifikasi dan meningkatkan hasil pektin yang diekstraksi, sehingga dapat memberikan jalur potensial untuk valorisasi biometanol.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih diucapkan kepada Belmawa, Universitas Negeri Malang, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, serta semua pihak yang telah membantu keterlaksanaan riset ini.

REFERENSI

Alqahtani, Y. S., More, S. S., Keerthana, R., Shaikh, I. A., Anusha, K. J., More, V. S., Niyonzima, F. N., Muddapur, U. M., & Khan, A. A. (2022). Production and Purification of Pectinase from *Bacillus subtilis* 15A-B92 and Its

Biotechnological Applications. *Molecules*, 27(13).

<https://doi.org/10.3390/molecules27134195>

Anggarani, R., Wibowo, C. S., Maymuchar, & Dhiputra, I. M. K. (2019). Comparison of Jet Diffusion Flame Characteristics and Flame Temperature of Dimethyl Ether (DME) and Liquefied Petroleum Gas (LPG). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 694(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/694/1/012019>

Azahra, N., Alifia, S. C., Andyka, N. P., Wijayanto, S., & Fathoni, M. Y. (2022). Peramalan Jumlah Produksi Tebu Menggunakan Metode Time Series Model Moving Averages. *JURIKOM (Jurnal Riset Komputer)*, 9(4), 840. <https://doi.org/10.30865/jurikom.v9i4.4388>

Brunetti, A., Migliori, M., Cozza, D., Catizzzone, E., Giordano, G., & Barbieri, G. (2020). Methanol Conversion to Dimethyl Ether in Catalytic Zeolite Membrane Reactors. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 8(28), 10471–10479. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c02557>

Badan Pusat Statistik. (2020). Nilai Impor Migas-NonMigas. Diambil dari alamat website: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTc1NCMy/nilai-impor-migas-nonmigas.html>, Diakses pada 1 Mei 2023

Faqih, M., Andini, D., & Mulangsri, K. (2023). Aktivitas Antibakteri Fraksi-Fraksi Daun Mangga (*Mangifera indica* L.) Harum Manis Terhadap Bakteri *Bacillus subtilis*. *JIFFK Supp*, 1(1), 11–18. www.unwahas.ac.id/publikasiilmiah/index.php/ilmufarmasidanfarmasiklinik

Fauzan, A., Devita Risnandar, T., Rizki Anisa, V., & Pasonang Sihombing, R. (2022). Karakteristik Kadar Metoksil dan Kadar Asam Galakturonat pada Ekstrak Pektin dari Kulit Jeruk Manis Pacitan pada Suhu 90° C. *Prosiding The 13th Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung*, 13(1), 825-829. <https://doi.org/10.35313/irwns.v13i01.4174>

Hidayati, M., Sapalian, K. D., Febriana, I., & Bow, Y. (2022). Pengaruh pH dan Waktu Fermentasi Molase Menjadi Bioetanol

- Menggunakan Bakteri EM4. *Publikasi Penelitian Terapan Dan Kebijakan*, 5(1), 33–40.
<https://doi.org/10.46774/pptk.v5i1.394>
- Ichsan, M., Lockwood, M., & Ramadhani, M. (2022). National Oil Companies and Fossil Fuel Subsidy Regimes in Transition: The Case of Indonesia. *Extractive Industries and Society*.
<https://doi.org/10.1016/j.exis.2022.101104>
- Istnaeny, M., Kartika, R., Purwa, G., & Yohanes, R. (2022). Utilization of Vegetable Waste as an Environmentally Friendly Natural Decomposer. *Journal of Sustainable Technology and Applied Science (JSTAS)*, 3(1), 16–23.
<https://doi.org/10.36040/jstas.v3i1.3695>
- Khan, S., Jain, G., Srivastava, A., Verma, P. C., Pande, V., Dubey, R. S., Khan, M., Haque, S., & Ahmad, S. (2023). Enzymatic Biomethanol Production: Future Perspective. In *Sustainable Materials and Technologies* (Vol. 38). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.susmat.2023.e00729>
- Krauser, L. E., Stevens, F. R., Gaughan, A. E., Nghiem, S. V., Thy, P. T. M., Duy, P. T. N., & Chon, L. T. (2022). Shedding Light on Agricultural Transitions, Dragon Fruit Cultivation, and Electrification in Southern Vietnam Using Mixed Methods. *Annals of the American Association of Geographers*, 112(4), 1139–1158.
<https://doi.org/10.1080/24694452.2021.1940825>
- Kumar, R., Meghwanshi, G. K., Marcianò, D., Ullah, S. F., Bulone, V., Toffolatti, S. L., & Srivastava, V. (2023). Sequence, Structure dan Functionality of Pectin Methylsterases and Their Use in Sustainable Carbohydrate Bioproducts: A Review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 244.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125385>
- Li, J., Chen, S., Fu, J., Xie, J., Ju, J., Yu, B., & Wang, L. (2022). Efficient Molasses Utilization for Low-Molecular-Weight Poly- Γ -Glutamic Acid Production Using a Novel Bacillus Subtilis Strain. *Microbial Cell Factories*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12934-022-01867-5>
- Listyarini, R. V., Susilawatib, R., Nukung, E. N., Anastasia, M., & Yuana, T. (2020). Bioplastic from Pectin of Dragon Fruit (Hylocereus polyrhizus) Peel. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi* 23(6) (2020): 203-208.
<http://ejournal.undip.ac.id/index.php/ksa>
- Mihajlovski, K., Pecarski, D., Rajilić-Stojanović, M., & Dimitrijević-Branković, S. (2021). Valorization of Corn Stover and Molasses for Enzyme Synthesis, Lignocellulosic Hydrolysis and Bioethanol Production By *Hymenobacter* sp. CKS3. *Environmental Technology and Innovation*, 23.
<https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101627>
- Mulyani, G. T., Hartati, S., Santoso, Y., Kurnia, K., Pramono, A. B., & Wirapratwi, D. K. (2017). Kejadian Leptospirosis pada Anjing di Daerah Istimewa Yogyakarta (Case of Canine Leptospirosis in the City of Yogyakarta). *Jurnal Veteriner*, 18(3), 403.
<https://doi.org/10.19087/jveteriner.2017.18.3.403>
- Rahmayulis, Ulan D. T., & Hilmarni. (2023). Penetapan Kadar Pektin dan Metoksil Kulit Buah Naga Merah (*Hylocereus Polyrhizus*) yang Diekstraksi dengan Metode Refluks. *Jurnal MIPA*, 12 (2), 38-42.
<https://doi.org/10.35799/jm.v12i2.44984>
- Sianipar, R. (2023). Optimalisasi Ketahanan Energi Melalui Kebijakan Pengurangan Konsumsi Gas Elpiji di Indonesia. *JDKP Jurnal Desentralisasi Dan Kebijakan Publik*, 4(1), 62–72.
<https://doi.org/10.30656/jdkp.v4i1.6263>
- Silsia, D., Susanti, L., Febreini, M., Pertanian, J. T., Pertanian, F., & Bengkulu, U. (2021). Rendemen and Characteristics of Pektins Red Dragon Fruit Leather (*Hylocereus costaricensis*) With the Difference in Extraction Method and Time. *Jurnal Agroindustri*, 11(2), 120–132.
<https://doi.org/10.31186/j.agroind.11.2.120-132>
- Sudeep, K. C., Upadhyaya, J., Joshi, D. R., Lekhak, B., Chaudhary, D. K., Pant, B. R., Bajgai, T. R., Dhital, R., Khanal, S., Koirala, N., & Raghavan, V. (2020). Production, Characterization, and Industrial Application of Pectinase Enzyme Isolated from Fungal Strains. *Fermentation*, 6(2).
<https://doi.org/10.3390/fermentation6020059>

Van der Maas, L., Driessen, J. L. S. P., & Mussatto, S. I. (2021). Effects of Inhibitory Compounds Present in Lignocellulosic Biomass Hydrolysates on the Growth of *Bacillus Subtilis*. *Energies*, 14(24). <https://doi.org/10.3390/en14248419>

Xu, X., Wei, Z., Ji, Q., Wang, C., & Gao, G. (2019). Global Renewable Energy Development: Influencing Factors, Trend Predictions and Countermeasures. *Resources Policy*, 63. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101470>

Zabed, H. M., Akter, S., Yun, J., Zhang, G., Awad, F. N., Qi, X., & Sahu, J. N. (2019). Recent Advances in Biological Pretreatment of Microalgae and Lignocellulosic Biomass for Biofuel Production. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 105, pp. 105–128). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.048>