

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 *Yield Crude Enzyme* PME

Penentuan *yield crude enzyme* PME dilakukan dengan membandingkan berat *crude enzyme* PME hasil ekstraksi dan berat *puree* kentang yang digunakan. *Yield crude enzyme* PME kentang varietas Granola dan Atlantik telah diuji dan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. *Yield Crude Enzyme* PME Varietas Granola dan Atlantik

Varietas kentang	Umur Panen (Hari Setelah Panen/HSP)	Bobot <i>Puree</i> Kentang (g)	Bobot <i>Crude</i> (g)	<i>Yield</i> (%)
Granola	29	52,3427	0,2710	0,5177
Atlantik	53	52,3711	1,2565	2,3992

Berdasarkan tabel 1, *yield crude enzyme* PME menunjukkan perbedaan yang cukup besar antara varietas Granola dan Atlantik. Varietas Granola menghasilkan *yield* sebesar 0,5177% sedangkan varietas Atlantik hasilkan *yield* sebesar 2,3992%. Dengan begitu, diketahui bahwa *yield* PME pada varietas Atlantik lebih besar dibandingkan dengan Granola. Hal ini dapat dikarenakan perbedaan umur pascapanen antarvarietas. Kentang Atlantik yang diekstraksi berumur lebih matang dibanding granola. Hal ini memungkinkan adanya proses pematangan sel yang lebih kompleks pada varietas Atlantik dibandingkan granola sehingga menghasilkan *yield* yang lebih banyak. Pematangan sel tumbuhan akan semakin meningkat seiring bertambahnya usia pascapanen (Mouzo *et al.*, 2022).

Selain karena umur pascapanen, beda varietas juga dapat memengaruhi

persentase *yield* yang dihasilkan. Varietas Atlantik cenderung memiliki kandungan pati yang lebih tinggi dibandingkan Granola. Hal ini dapat meningkatkan *yield* karena proses ekstraksi yang dilakukan terbatas, yaitu tanpa pemurnian enzim lebih lanjut. Granula pati Atlantik yang lebih kecil mengandung banyak gugus hidroksil memungkinkan terjadinya pengikatan air pada *puree* yang berakibat mengendapnya protein ketika diekstraksi sehingga dapat menambah bobot *crude enzyme* yang berbanding lurus dengan *yield* yang dihasilkan (Zhang *et al.*, 2025).

4.2 Aktivitas *Crude Enzyme* PME

Aktivitas *crude enzyme* PME kentang varietas Granola dan Atlantik telah diuji dan dapat dilihat pada Lampiran 1. Data uji aktivitas tersebut kemudian diolah SPSS menggunakan metode *Independent t-Test* dan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rerata Nilai Aktivitas *Crude Enzyme* PME

Varietas Kentang	Nilai pH	Aktivitas Enzim (units/ml)	<i>p-value</i>
Granola	7	0,0232±0,0010	0,023
Atlantik		0,0131±0,0010	
Granola	8	0,1047±0,0070	0,004
Atlantik		0,2675±0,0266	
Granola	9	0,4303±0,0686	0,000
Atlantik		0,3178±0,0317	
Granola	10	0,4647±0,0310	0,201
Atlantik		0,6035±0,0022	
Granola	11	0,8451±0,1438	0,295
Atlantik		0,8543±0,0268	

Keterangan: Data yang ditampilkan sebagai nilai rerata±standar deviasi (n=3) menggunakan tingkat signifikansi ($\alpha=0,05$)

Berdasarkan tabel 2, diketahui bahwa PME pada kedua varietas memiliki aktivitas yang sangat bervariasi terhadap perubahan pH. Nilai *p* (*p-value*) merupakan indikator perbedaan aktivitas PME antar kedua varietas. Jika nilai $p \leq$

0,05 maka aktivitas PME antara kedua varietas berbeda secara signifikan, jika nilai $p > 0,05$ maka aktivitas PME antara kedua varietas tidak berbeda secara signifikan.

Berdasarkan tabel 2, dapat diketahui *p-value* yang mewakili signifikansi beda aktivitas PME antar dua varietas menunjukkan bahwa pada pH 7, 8, dan 9 aktivitas PME granola dan atlantik berbeda signifikan. Perbedaan aktivitas yang signifikan ini dapat terjadi dikarenakan adanya perbedaan struktur enzim yang disebabkan oleh perbedaan konformasi antar kedua varietas sehingga sisi aktif enzim yang dihasilkan berbeda, dan interaksi dengan substrat menghasilkan aktivitas enzim yang berbeda. Hal ini didukung dengan penelitian Kent *et al.*, 2016 yang menyatakan bahwa konformasi enzim yang berbeda baik dari segi panjang, maupun struktur asam amino akan mengubah distribusi muatan elektrostatik sehingga menghasilkan sisi aktif yang berbeda pada enzim dan akhirnya terjadi perbedaan aktivitas enzim. Perbedaan konformasi ini sangat mungkin terjadi karena perbedaan varietas sampel berupa atlantik dan granola. Perbedaan varietas menunjukkan adanya perbedaan susunan basa nitrogen yang menghasilkan perbedaan gen, sehingga hasil translasi berupa struktur asam amino yang berbeda pula (Khan *et al.*, 2023).

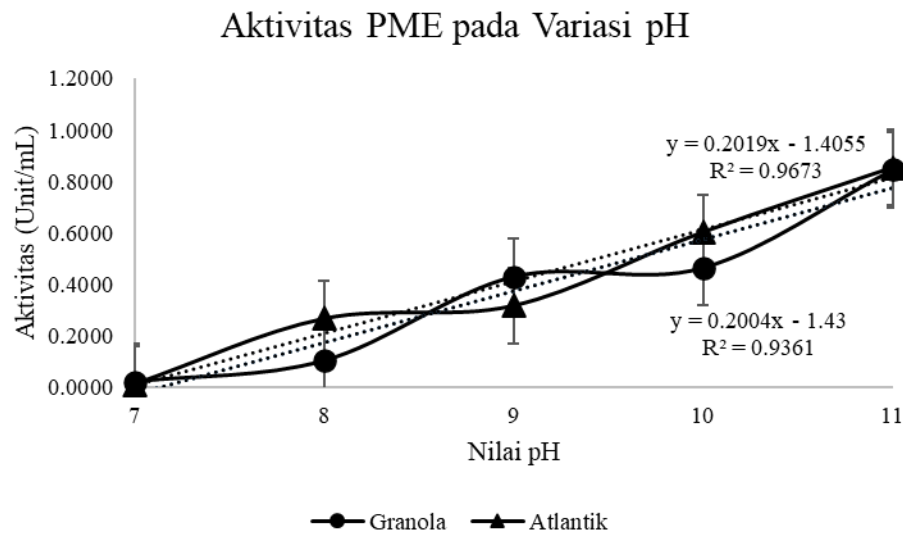
Memasuki pH 10 dan 11 aktivitas PME granola dan atlantik tidak berbeda signifikan. Hal ini mengindikasikan pada pH tersebut kedua varietas berada di konformasi yang stabil, sehingga perbedaan aktivitas enzim antarvarietas mengecil. Secara keseluruhan, kedua varietas menunjukkan peningkatan aktivitas seiring dengan meningkatnya pH lingkungan. Hal ini menunjukkan PME kentang varietas granola dan atlantik aktif pada pH basa. Umumnya, PME dapat bekerja maksimal di

pH lingkungan netral hingga alkali (Kumar *et al.*, 2023). Enzim memiliki sifat prosesifitas yang dapat memengaruhi aktivitasnya. Aktivitas enzim bergantung pada kemampuan enzim untuk terus berinteraksi dengan substrat meski katalisis telah terjadi, yang disebut prosesifitas enzim (Barel *et al.*, 2015).

Pada PME, prosesifitas enzim ditunjukkan dengan menempelnya PME pada pektin dan demetilesterifikasi terjadi secara berurutan sebelum enzim berpindah ke substrat lainnya sehingga produk berupa asam galakturonat yang dihasilkan lebih banyak. Sifat prosesifitas sangat dipengaruhi pH lingkungannya. AtPME2 yang bersumber dari tanaman *Arabidopsis thaliana* menunjukkan prosesifitas tinggi pada pH 8 sedangkan prosesifitas rendah pada pH 5 (Hocq *et al.*, 2024). Semakin tinggi prosesifitas enzim, semakin lama enzim menempel pada substrat dan semakin besar produk yang dihasilkan. Secara umum, prosesifitas enzim PME yang terkandung pada kentang bersifat lebih tinggi.

4.3 Nilai pH Optimal

Pengujian nilai pH optimal PME kentang varietas granola dan atlantik dilakukan pada rentang pH 7 sampai 11 dengan data lengkap dapat dilihat pada Lampiran 1. Data tersebut kemudian disajikan dalam bentuk grafik, tertuang pada Ilustrasi 4 yang menunjukkan pengaruh variasi pH terhadap aktivitas PME.



Ilustrasi 1. Grafik Pengaruh Variasi pH terhadap Aktivitas PME

Grafik tersebut menunjukkan bahwa baik varietas granola maupun atlantik memiliki aktivitas PME yang bersifat progresif dan mencapai titik aktivitas maksimum di pH 11. Nilai pH optimal ditentukan menurut aktivitas enzim PME. Semakin tinggi aktivitas PME yang dihasilkan, semakin optimal pH pengujian tersebut. Pengujian pH dari rentang 7, 8, 9, 10, dan 11 menghasilkan aktivitas enzim PME kentang Granola secara berturut-turut sebesar 0,0232; 0,1047; 0,4303; 0,4647; 0,8451 sedangkan pada kentang varietas Atlantik aktivitas enzim PME yang terhitung yaitu sebesar 0,0131; 0,2675; 0,3178; 0,6035; 0,8543.

Berdasarkan grafik tersebut, baik dari varietas granola maupun atlantik, semakin naik pH pengujian, semakin besar aktivitas enzim yang terdeteksi. Kemudian dapat diketahui bahwa aktivitas enzim tertinggi terjadi pada pH 11 untuk kedua varietas. Hal ini dapat terjadi dikarenakan PME yang ada pada kentang granola dan atlantik berjenis PME alkali. PME yang memiliki aktivitas maksimum

pada pH alkali atau PME alkali disebabkan karena interaksi sisi aktif enzim lebih terbuka terhadap substrat sehingga aktivitas katalitik enzim meningkat pada kondisi basa (Kumar *et al.*, 2022).

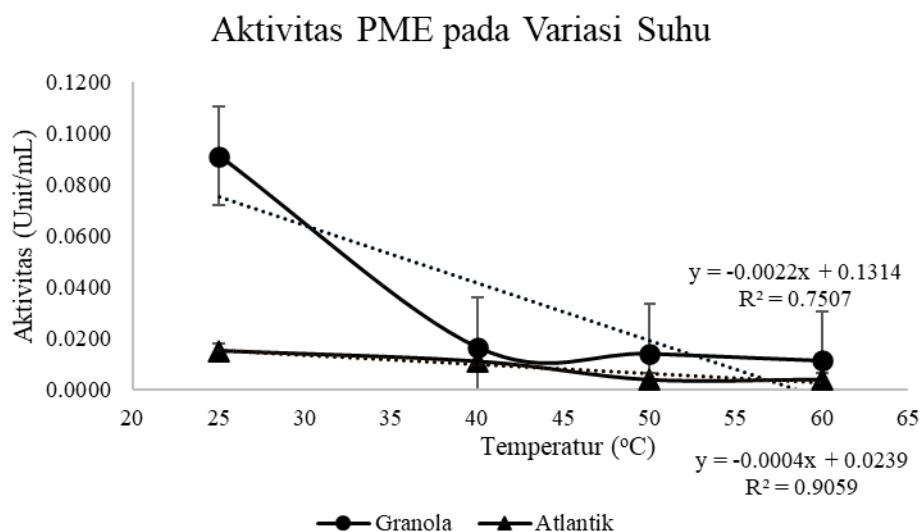
Nilai pH optimal pada varietas Granola dan Atlantik ini berbeda dengan kebanyakan penelitian mengenai enzim PME lainnya. Perbedaan tujuan yang melatarbelakangi penelitian tersebut dapat menghasilkan pH optimal yang berbeda antar riset. PME berdasarkan penelitian sebelumnya umumnya optimal pada pH netral hingga basa ringan, yaitu pH 7 seperti pada buah kaktus (Aksay *et al.*, 2025), pH 7,5 pada buah aprikot alyanak (Ünal and Şener, 2013), dan buah pepaya yang memiliki pH optimal 6-9 (Kotnala *et al.*, 2018; Vasu *et al.*, 2012). Meski begitu, perbedaan ini sangat mungkin terjadi dikarenakan adanya perbedaan varietas dan habitat yang menyebabkan perbedaan isoform gen kentang sehingga menghasilkan ekspresi gen yang berbeda. Perbedaan ekspresi gen dapat membentuk isoenzim PME yang berbeda. Isoenzim PME memiliki konformasi PME serta ikatan hidrogen yang berbeda, yang memengaruhi kestabilan struktur tiga dimensi protein dan sifat katalisatornya terhadap reaksi (Samaranayake dan Sastry, 2021).

Pengujian pH optimal dilakukan hingga pH 11 karena pada pH yang lebih tinggi terjadi fenomena yang tidak sesuai dengan protokol penelitian. Fenomena tersebut berupa penurunan pH meskipun NaOH terus ditambahkan selama proses mempertahankan pH campuran enzim dan substrat pada pH 12. Secara teoritis, NaOH sebagai basa kuat seharusnya mempertahankan kestabilan pH sistem yang mengalami pembentukan asam poligalakturonat akibat aktivitas PME. Namun, pada kondisi alkalis ekstrem diduga terjadi demetilesterifikasi pektin secara spontan

oleh NaOH. Reaksi tersebut menghasilkan gugus karboksilat atau asam poligalakturonat dalam jumlah besar sehingga sistem campuran menjadi tidak stabil terhadap perubahan pH. Kondisi tersebut menyebabkan penambahan NaOH tidak mampu mempertahankan pH campuran secara konstan pada pH 12. Pada penelitian Liang *et al.*, 2022 pektin dimodifikasi dengan perlakuan alkali menggunakan NaOH sehingga derajat esterifikasi pektin menurun akibat terhidrolisisnya gugus metil ester pada asam poligalakturonat. Kondisi hasilkan pektin bermuatan negative yang tinggi berupa galakturonat dengan gugus karboksilat.

4.4 Suhu Optimal

Pengujian suhu optimal PME kentang varietas granola dan atlantik dilakukan pada suhu 25°C, 40°C, 50°C, dan 60°C dengan data lengkap dapat dilihat pada Lampiran 2. Data tersebut kemudian disajikan dalam bentuk grafik, tertuang pada Ilustrasi 5 yang menunjukkan pengaruh variasi suhu terhadap aktivitas PME.



Ilustrasi 2. Grafik Pengaruh Variasi Suhu terhadap Aktivitas PME

Berdasarkan grafik tersebut diketahui bahwa aktivitas PME tertinggi pada kedua varietas kentang terjadi pada suhu 25°C dan seiring meningkatnya suhu, aktivitas PME semakin menurun. Penelitian yang dilakukan Moens *et al.*, 2021 menunjukkan bahwa PME kentang *fontane*, *royal*, dan *innovator* yang merupakan kentang umum di Belgia pada suhu 35°C aktivitasnya terdeteksi masih tinggi hingga baru mengalami penurunan setelah dilakukan pemanasan di atas suhu 45°C. Di sisi lain, penurunan aktivitas yang terjadi seiring kenaikan suhu dapat terjadi dikarenakan PME yang merupakan enzim pada dinding sel memiliki interaksi hidrogen yang pada suhu tinggi dapat menurunkan interaksi tersebut sehingga sisi aktif enzim rusak, pengikatan dengan substrat menurun sehingga aktivitas PME melemah (Li *et al.*, 2025). Pengujian suhu optimal dilakukan pada pH 7 yang merupakan pH netral karena pengolahan pangan umumnya dilakukan pada pH netral, seperti *blanching*, perebusan, pengukusan, penggorengan, maupun pemanggangan.

Aktivitas enzim PME pada Granola cenderung lebih tinggi dibandingkan pada Atlantik. Hal ini dapat disebabkan oleh faktor usia pascapanen. Usia pascapanen dapat menjadi faktor tinggi-rendahnya aktivitas PME pada kentang. Pada saat proses pengujian, kentang Atlantik berusia 53 hari pasca panen sedangkan kentang Granola berusia 29 hari pascapanen. Hal ini didukung dengan penelitian Moens *et al.*, 2021 yang menyatakan bahwa selama penyimpanan kentang berlangsung, terjadi penurunan aktivitas PME yang signifikan. Selain itu, pada literatur yang sama, disampaikan bahwa bertambahnya waktu penyimpanan pascapanen, semakin menurunkan derajat metilasi pektin pada kentang.

Menurunnya derajat metilasi kentang menunjukkan adanya aktivitas demetilasi yang prosesnya dikatalis oleh PME. Semakin lama kentang disimpan, kandungan air semakin menurun sehingga proses metabolisme melambat dan protein rentan terdegradasi (Mudyantini *et al.*, 2025). Pelambatan metabolisme ini akan berakibat pada lemahnya sintesis protein. Maka dari itu, kentang Atlantik yang berusia lebih tua memiliki aktivitas PME lebih rendah ketika diuji karena jumlah PME yang dihasilkan berkurang dari kondisi awal Atlantik sedangkan substrat yang digunakan untuk pengujian kedua varietas berjumlah sama.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa rendemen Atlantik lebih besar dibandingkan Granola. Aktivitas *crude enzyme* PME pada kedua varietas meningkat seiring peningkatan nilai pH dengan pH optimal 11. Seiring bertambahnya suhu inkubasi, aktivitas *crude enzyme* PME semakin melemah dan berada di aktivitas maksimal pada suhu 25°C untuk kedua varietas.

5.2 SARAN

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah melakukan penyeragaman umur pascapanen antarvarietas kentang, serta melakukan validasi menggunakan enzim PME kentang murni.

DAFTAR PUSTAKA

- Aksay, S., Çınar, F., Kavaklıçeşme, A.G., Arslan, R., 2025. DETERMINATION OF PECTIN METHYLESTERASE ACTIVITY OF PRICKLY PEAR (OPUNTIA FICUS INDICA) FRUIT AND ITS KINETIC PARAMETERS. *J. Microbiol. Biotechnol. food Sci.* 14, e10571–e10571. <https://doi.org/10.55251/JMBFS.10571>
- Al-Baarri, A.N., Mulyani, S., Abduh, S.B.M., Hadipernata, M., Kamil, R.Z., Dzakiyalizz, A.N., Ulayya, G., Shaliha, S.N., Yuliana, T., Mawarid, A.A., Pangestika, W., 2023. Visual Performance of Fermented Whey with the Addition of Pectin and Chitosan During 24 Hours Storage at Refrigerator Temperature. *J. Appl. Food Technol.* 10, 58–62. <https://doi.org/10.17728/jaft.20916>
- Aydogan, C., Turhan, E., 2025. Rhizoctonia solani Affects the Salinity Tolerance of Potato Plants by Modulating Sugar Metabolism. *Potato Res.* 2025 683 68, 3525–3549. <https://doi.org/10.1007/S11540-025-09884-8>
- Bakshi, G., Ananthanarayan, L., 2021. Partial purification, characterization and kinetics of thermal inactivation of pectin methylesterase and polygalacturonase enzymes from Indian lemon (Citrus limon (L.)). *J. Food Meas. Charact.* 15, 2705–2715. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-00835-8>
- Barel, I., Reich, N.O., Brown, F.L.H., 2015. Extracting enzyme processivity from kinetic assays. *J. Chem. Phys.* 143. https://doi.org/10.1063/1.4937155/15508010/224115_1_ACCEPTED_MANUSCRIPT.PDF
- Dixit, S., upadhyay, S., Singh, H., Pandey, B., Chandrashekar, K., & Verma, P. (2013). Pectin methylesterase of Datura species, purification, and characterization from Datura stramonium and its application. *Plant Signaling & Behavior*, 8(10), e25681.
- Dorokhov, Y.L., Sheshukova, E. V., Komarova, T. V., 2018. Methanol in Plant Life. *Front. Plant Sci.* 9, 1623. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2018.01623>
- Eğilmez, H.İ., Haspolat, E., 2024. Temperature-Dependent Parameters in Enzyme Kinetics: Impacts on Enzyme Denaturation. *Fundam. J. Math. Appl.* 7, 226–235.
- Hasegawa, K., Ichikawa, A., Takeuchi, H., Nakamura, A., Iwai, H., 2023. Maintenance of Methyl-Esterified Pectin Level in Pollen Mother-Cell Stages Is Required for Microspore Development. *Plants* 12, 1717. <https://doi.org/10.3390/PLANTS12081717/S1>
- Hidayah, P., Izzati, M., Parman, S., 2017. Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kentang (Solanum tuberosum L. var. Granola) pada Sistem Budidaya yang Berbeda. *Bul. Anat. dan Fisiol.* 2, 218. <https://doi.org/10.14710/baf.2.2.2017.218-225>
- Hocq, L., Habrylo, O., Sénéchal, F., Voxeur, A., Pau-Roblot, C., Safran, J., Fournet, F., Bassard, S., Battu, V., Demailly, H., Tovar, J.C., Pilard, S., Marcelo, P., Savary, B.J., Mercadante, D., Njo, M.F., Beeckman, T., Boudaoud, A., Gutierrez, L., Pelloux, J., Lefebvre, V., 2024. Mutation of AtPME2, a pH-

- Dependent Pectin Methylesterase, Affects Cell Wall Structure and Hypocotyl Elongation. *Plant Cell Physiol.* 65, 301–318. <https://doi.org/10.1093/PCP/PCAD154>,
- Hong, P.N., Lee, C., 2017. Roles of Pectin Methylesterases and Pectin Methylesterase Inhibitors in Plant Physiology. *J. Agric. Life Environ. Sci.* 29, 1–17.
- Islam, M.M., Naznin, S., Naznin, A., Uddin, M.N., Amin, M.N., Rahman, M.M., Tipu, M.M.H., Alsuhaibani, A.M., Gaber, A., Ahmed, S., 2022. Dry Matter, Starch Content, Reducing Sugar, Color and Crispiness Are Key Parameters of Potatoes Required for Chip Processing. *Hortic.* 2022, Vol. 8, Page 362 8, 362. <https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE8050362>
- Kazimova, İ., Ahad, N., Omarova, E., 2021. Determining the pectinesterase enzyme activity when storing table grape varieties depending on the degree of ripening. *Eastern-European J. Enterp. Technol.* 6, 114.
- Kent, L.M., Loo, T.S., Melton, L.D., Mercadante, D., Williams, M.A.K., Jameson, G.B., 2016. Structure and Properties of a Non-processive, Salt-requiring, and Acidophilic Pectin Methylesterase from *Aspergillus niger* Provide Insights into the Key Determinants of Processivity Control. *J. Biol. Chem.* 291, 1289–1306. <https://doi.org/10.1074/JBC.M115.673152>
- Khan, A., Khan, N.A., Bean, S.R., Chen, J., Xin, Z., Jiao, Y., 2023. Variations in Total Protein and Amino Acids in the Sequenced Sorghum Mutant Library. *Plants* 12, 1662. <https://doi.org/10.3390/PLANTS12081662/S1>
- Kotnala, B., Shashirekha M., N., Vasu, P., 2018. Purification and Characterization of a Salt-Dependent Pectin Methylesterase from *Carica papaya* Fruit Mesocarp-Exocarp Tissue. *J. Food Sci.* 83, 2062–2070. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14215>
- Kumar, R., Kumar, S., Bulone, V., Srivastava, V., 2022. Biochemical characterization and molecular insights into substrate recognition of pectin methylesterase from *Phytophthora infestans*. *Comput. Struct. Biotechnol. J.* 20, 6023–6032. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2022.11.003>
- Kumar, R., Meghwanshi, G.K., Marcianò, D., Ullah, S.F., Bulone, V., Toffolatti, S.L., Srivastava, V., 2023. Sequence, structure and functionality of pectin methylesterases and their use in sustainable carbohydrate bioproducts: A review. *Int. J. Biol. Macromol.* 244, 125385. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2023.125385>
- Li, Y., Liu, Z., Li, G., Yin, X., Guo, C., Jiang, Y., Hu, X., Yi, J., 2025. Inactivated mechanisms of high pressure processing combined with mild temperature on pectin methylesterase and its inhibitor. *Food Chem.* 484, 144477. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2025.144477>
- Liang, W. ling, Liao, J. song, Qi, J.R., Jiang, W. xin, Yang, X. quan, 2022. Physicochemical characteristics and functional properties of high methoxyl pectin with different degree of esterification. *Food Chem.* 375, 131806. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.131806>
- Liu, T., Jiang, Q., Cai, X., Zhao, X., Wang, D., Zhang, C., 2026. Revealing the Impact of Starch–Pectin Interactions on the Textural Properties of Different Potato Varieties During Boiling. *Foods* 2026, Vol. 15, Page 722 15, 722.

<https://doi.org/10.3390/FOODS15040722>

- Moens, Lucie G., De Laet, E., Van Ceunebroeck, J.C., Van Loey, A.M., Hendrickx, M.E.G., 2021. Thermal inactivation of pectin methylesterase from different potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.). *LWT* 138, 110600. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.110600>
- Moens, Lucie G, Goos, P., Loey, A.M. Van, Hendrickx, M.E.G., 2021. Effect of postharvest storage on potato (*Solanum tuberosum* L .) texture after pulsed electric field and thermal treatments 74.
- Mouzo, D., Rodríguez-Vázquez, R., Barrio, C., García, L., Zapata, C., 2022. Comparative Proteomics of Potato Cultivars with a Variable Dormancy Period. *Molecules* 27, 6621. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES27196621/S1>
- Mudyantini, W., Pramesthi, V.D., Suranto, S., Solichatun, S., Pitoyo, A., Suratman, S., Purnama, P.C., 2025. Physicochemical Characteristics of Potato (*Solanum tuberosum* L.) after Chitosan Coating and Storage at Various Temperature. *agriTECH* 45, 52–61. <https://doi.org/10.22146/AGRITECH.87199>
- Prabhudev, H., Sneharani, A.H., 2020. Extraction and characterization of pectin methylesterase from muskmelon biowaste for pectin remodeling. *J. Food Biochem.* 44, e13237.
- Prihatini, I., Kumala Dewi, R., Sayyid Ali Rahmatullah, U., artikel, R., 2021. Kandungan Enzim Papain pada Pepaya (*Carica papaya* L) Terhadap Metabolisme Tubuh Info Artikel ABSTRAK.
- Putri, S., Made, N., Dan Krisantini, A.W., Rai, S.P., Wiendi, A., Krisantini, D., 2015. Optimasi Produksi Bibit Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum*) Kultivar Granola dengan Teknik Fotoautotrofik. *Bul. Agrohorti* 3, 28–38. <https://doi.org/10.29244/AGROB.V3I1.14822>
- Rahmawati, R. S., Syukur, M., dan Maharijaya, A., 2021. Uji Ketahanan Penyakit Layu Bakteri Secara In Vitro dan Uji Daya Hasil Genotipe Kentang IPB. *J. Agron. Indones.* (Indonesian J. Agron. 49, 192–198.
- Rukmini, P., Suryaningsih, E.I., 2025. Characteristics of Methyl Ester Sulfonate (MES) Laundry Soap With The Addition of Salt and Ecoenzyme Additives: Karakteristik Deterjen Methil Ester Sulfonat (MES) Dengan Penambahan Garam dan Aditif Ecoenzyme. *J. Kim. dan Rekayasa* 5, 71–79.
- Samaranayake, C.P., Sastry, S.K., 2021. Molecular dynamics evidence for nonthermal effects of electric fields on pectin methylesterase activity. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 23, 14422–14432. <https://doi.org/10.1039/D0CP05950A>
- SANTOS, M.B. de los, JACOBI, S.S., MIÑARRO, M. de la C.A., BALSALOBRE, J.A.P., GUILLÉN, A.A., GORBE, M.I.F., 2020. Kinetic characterization, thermal and pH inactivation study of peroxidase and pectin methylesterase from tomato (*Solanum betaceum*). *Food Sci. Technol.* 40, 273–279.
- Shin, Y., Chane, A., Jung, M., Lee, Y., 2021. Recent advances in understanding the roles of pectin as an active participant in plant signaling networks. *Plants* 10. <https://doi.org/10.3390/PLANTS10081712>,
- Ünal, M.Ü., Şener, A., 2013a. Extraction and characterization of pectin methylesterase from Alyanak apricot (*Prunus armeniaca* L). *J. Food Sci. Technol.* 52, 1194. <https://doi.org/10.1007/S13197-013-1099-3>

- Ünal, M.Ü., Şener, A., 2013b. Extraction and characterization of pectin methylesterase from Alyanak apricot (*Prunus armeniaca* L). *J. Food Sci. Technol.* 52, 1194–1199. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1099-3>
- Vasu, P., Savary, B.J., Cameron, R.G., 2012. Purification and characterization of a papaya (*Carica papaya* L.) pectin methylesterase isolated from a commercial papain preparation. *Food Chem.* 133, 366–372. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2012.01.042>
- Wang, Y., Huang, W., Zeng, F., He, J., Pan, Z., Sahito, Z.A., Li, X., Yang, W., 2025. A study focusing on the distinct fine structure of starch in mealy and waxy potatoes. *Sci. Rep.* 15. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-95977-w>
- Wormit, A., Usadel, B., 2018. The Multifaceted Role of Pectin Methylesterase Inhibitors (PMEIs). *Int. J. Mol. Sci.* 2018, Vol. 19, Page 2878 19, 2878. <https://doi.org/10.3390/IJMS19102878>
- Yadav, K., Dwivedi, S., Gupta, S., Tanveer, A., Yadav, S., Yadav, P.K., Anand, G., Yadav, D., 2023. Recent insights into microbial pectin lyases: A review. *Process Biochem.* 134, 199–217. <https://doi.org/10.1016/J.PROCBIO.2023.10.008>
- Yang, L., Liu, Y., Wang, S., Zhang, X., Yang, J., Du, C., 2021. The relationship between amylopectin fine structure and the physicochemical properties of starch during potato growth. *Int. J. Biol. Macromol.* 182, 1047–1055. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2021.04.080>
- Yu, Y., Cui, L., Liu, X., Wang, Y., Song, C., Pak, U.H., Mayo, K.H., Sun, L., Zhou, Y., 2022. Determining Methyl-Esterification Patterns in Plant-Derived Homogalacturonan Pectins. *Front. Nutr.* 9, 925050. <https://doi.org/10.3389/FNUT.2022.925050/FULL>
- Zhang, J., Liu, Y., Wang, P., Zhao, Y., Zhu, Y., Xiao, X., 2025. The Effect of Protein–Starch Interaction on the Structure and Properties of Starch, and Its Application in Flour Products. *Foods* 2025, Vol. 14, Page 778 14, 778. <https://doi.org/10.3390/FOODS14050778>