

EFEKTIVITAS LIMBAH BIJI PEPAYA SEBAGAI MEDIA PERTUMBUHAN *Bacillus subtilis* PADA SKALA LABORATORIUM

THE EFFECTIVENESS OF PAPAYA'S SEED WASTE AS GROWTH MEDIA FOR *Bacillus subtilis* AT LABORATORY SCALE

Tiara Roihanah Oktaviana, Danur Bagaskoro Satria Ulung, Fadya Andieny Prasetyo, Herlan Tri Gunawan, Najma Indana Zulfa, dan Esna Dilli Novianto*

Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Tidar, Kota Magelang, Indonesia

* Corresponding Author. E-mail address: dili.novianto@untidar.ac.id

ARTICLE HISTORY:

Received: 25 July 2024

Peer Review: 30 August 2024

Accepted: 26 December 2025

KATA KUNCI:

Bacillus subtilis, limbah biji pepaya, media pertumbuhan

Tren konsumsi buah mengalami peningkatan yang signifikan. Hal ini berdampak pada kenaikan volume limbah biji. Padahal limbah tersebut masih memiliki kandungan nutrisi yang dapat digunakan sebagai media pertumbuhan bakteri. Penelitian ini bertujuan untuk menguji potensi limbah biji pepaya sebagai alternatif media pertumbuhan bakteri pada skala laboratorium. Penelitian ini dilakukan pada bulan April – Juni 2024 di Laboratorium Mikrobiologi Universitas Tidar. Rancangan Acak Lengkap (RAL) digunakan untuk melihat potensi limbah biji sebagai media pertumbuhan bakteri *Bacillus subtilis*, yaitu dengan menggunakan 4 perlakuan yang berbeda. Isolat bakteri *B. subtilis* (FNCC 0059) ditumbuhkan di media limbah biji pepaya konsentrasi 200 ml/l, 300 ml/l, dan 400 ml/l, serta media NA sebagai kontrol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa media biji pepaya dapat digunakan sebagai media pertumbuhan bakteri *B. subtilis*. Hal ini disebabkan pada media biji pepaya lebih banyak jumlah bakterinya yang tumbuh dibandingkan pada media NA, terutama pada media biji pepaya 200 ml/l memiliki total koloni paling tinggi. Selain itu, pada uji kekuatan gel menunjukkan bahwa media biji pepaya memiliki ketahanan yang lebih baik dibandingkan media NA. Dengan demikian, limbah biji pepaya dapat digunakan sebagai media alternatif untuk kultur bakteri.

ABSTRACT

Nowadays the increasing of fruit's consumption caused plenty of seed waste scattered in the environment. Although it is including pollutant, this seed waste contains a bunch of nutrients that can be used as a carbon source for bacterial growth. This research aims to study the potential of papaya seed waste as an alternative medium for bacterial growth on a laboratory scale. This research was conducted in April – July 2024 at the Microbiology Laboratory at Universitas Tidar. A Completely Randomized Design (CRD) was used with NA as a control media, and papaya seed waste media with the concentration of 200 ml/l, 300 ml/l, and 400 ml/l respectively. The growth of *Bacillus subtilis* (FNCC 0059) become parameter observed in this research. The results show that papaya seed media can be used as a growth medium for *B. subtilis*. The number of bacteria growing on papaya seed media is higher than on control media. Apart from that, the resistance test in terms of gel strength also showed that the papaya seed medium had better resistance than the control medium. Thus, papaya seed waste can be used as an alternative medium for bacterial culture.

KEYWORDS:

Bacillus subtilis, growth media, papaya seed's waste

1. PENDAHULUAN

Tren konsumsi buah yang semakin meningkat akhir-akhir ini menyebabkan banyaknya penumpukan limbah organik (Dewi *et al.*, 2024; Pangerang *et al.*, 2024). Sebagian besar limbah buah-buahan tersebut tidak diolah lebih lanjut (Syamsiah *et al.*, 2021). Menurut Subagio *et al.*, (2023) tumpukan sampah organik menghasilkan cairan *leachate* yang dapat menyebabkan penurunan kualitas tanah dan air. Jika hal ini dibiarkan mencemari lingkungan, secara tidak langsung akan berdampak buruk bagi kesehatan Masyarakat (Pasaribu & Fransiska, 2022).

Salah satu limbah buah-buahan yang tidak mudah “dicerna” secara alami di lingkungan adalah biji-bijian. Meskipun demikian, biji buah-buahan sebenarnya masih mengandung banyak biomolekul esensial yang dapat digunakan oleh mikroba. Sehingga dapat digunakan sebagai campuran nutrisi pada media *in-vitro* (Anbu *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2024; Wibowo *et al.*, 2017). Penelitian Juariah & Tiana (2021) menunjukkan bahwa limbah biji durian dapat digunakan sebagai media alternatif perkembangan bakteri. Hal ini dikarenakan pada setiap 100 g biji durian mengandung 51,1 g air; 46,2 g karbohidrat; 2,5 g protein; dan 0,2 g lemak. Selain itu, penelitian serupa yang dilakukan oleh Zamilah *et al.*, (2020) menemukan fakta bahwa pada media kacang tanah (*Arachis hypogaea L.*) dapat berkembang bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* sehingga media dapat digunakan sebagai media alternatif substitusi Nutrient Agar (NA). Namun, masih banyak limbah biji-bijian lain yang belum diteliti dan digali potensinya sebagai media pertumbuhan mikroba secara *in-vitro*.

Banyak sedikitnya limbah biji berbanding lurus dengan tingkat konsumsi buah itu sendiri. Menurut Mas’ud & Wahyuningsih (2022), konsumsi buah pepaya pada tahun 2021 mencapai 837.472,06 ton. Analisa yang dilakukan Dewi *et al.*, (2022) menyatakan bahwa dampak konsumsi buah tersebut akan meninggalkan limbah biji dengan persentase 17-39% dari total bobot. Padahal, nutrisi yang terkandung di dalamnya tergolong tinggi. Menurut Vinha *et al.*, (2024) biji pepaya yang dibuang di lingkungan masih memiliki kandungan karbohidrat sebesar 40,5 % dan protein sebesar 19,9 %. Sayangnya, hingga sekarang limbah tersebut belum pernah digunakan sebagai alternatif media pertumbuhan mikroba di laboratorium.

Bacillus subtilis telah lama dikenal di dunia pertanian sebagai bakteri antagonis yang mampu menghambat berbagai macam patogen penyebab penyakit pada tanaman budidaya (Grahovac *et al.*, 2023; Guo *et al.*, 2015; Lyng & Kovács, 2023). Strain BS-Z15 misalnya, mampu menghasilkan metabolit sekunder yang dapat mengontrol pertumbuhan jamur patogen penyebab *fusarium head blight* pada tanaman gandum (Zhao *et al.*, 2025). Penelitian lain juga membuktikan kemampuan kelompok *Bacillus* sp. dalam menghambat patogen tular tanah (Maral-Gül & Eltem, 2025). Perannya sebagai bakteri antagonis secara tidak langsung berhubungan dengan limbah biji papaya yang digunakan sebagai bahan media pertumbuhan bakteri pada penelitian ini. Hasil penelitian Nion *et al.*, (2025), Ismail & Safie (2025), serta Adomi & Oyubu (2023) menunjukkan bahwa limbah pertanian seperti biji, berpotensi digunakan sebagai bahan dasar untuk pembuatan media alternatif bakteri.

Penelitian ini bertujuan untuk menguji potensi limbah biji pepaya sebagai pengganti sumber karbon pada media pertumbuhan *B. subtilis*. Adapun objek bakteri yang akan digunakan pada penelitian ini adalah *B. subtilis*. Hal ini dikarenakan bakteri ini sudah teruji mudah ditumbuhkan di luar habitatnya dan sering digunakan sebagai organisme model. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai dasar pemanfaatan limbah buah-buahan sebagai alternatif bahan baku media pertumbuhan bakteri pada skala laboratorium. Selain dapat membantu dalam mengurangi limbah organik di lingkungan, pemanfaatan limbah buah-buahan juga turut mendukung perwujudan *zero waste agriculture* pada umumnya.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama empat bulan, dari bulan April 2024 sampai Juli 2024 bertempat di Labolatorium Mikrobiologi, Fakultas Pertanian, Universitas Tidar, Propinsi Jawa Tengah.

2.2 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah biji pepaya yang didapatkan dari pedagang jus di Magelang, media NA dan agar bacto (Oxoid), akuades, NaCl fisiologis 0,9%, gula, dan isolat *Bacillus subtilis* (FNCC 0059, UGM). Alat yang digunakan adalah *laminar air flow* (Biobase, China), autoklaf (Hirayama, Jepang), inkubator (Mettler, Jerman), oven (Bionex, Amerika Serikat), kompor listrik (Maspion, Indonesia), *vortex* (Gemmy, Taiwan), blender, timbangan analitik (Chrom Tech, Amerika Serikat), mikropipet (Eppendorf, Jerman), gelas ukur, gelas beker, cawan petri, jarum ose, tabung reaksi, pipet ukur, erlenmeyer, dan bunsen.

2.3 Tahap Penelitian

2.3.1 Pembuatan Media Pertumbuhan Bakteri

Sampel limbah biji pepaya dikumpulkan dari pedagang jus buah di daerah Magelang. Selanjutnya, limbah biji dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60°C. Setelah kering, limbah biji kemudian diblender dan dilakukan ekstraksi sesuai metode Novianto *et al.*, (2020) yang telah dimodifikasi. Sebanyak 20 g serbuk limbah biji dilarutkan ke dalam 200 ml akuades dan disaring. Kemudian larutan tersebut digunakan sebagai bahan untuk membuat larutan limbah biji dengan konsentrasi 200 ml/l, 300 ml/l, dan 400 ml/l. Pembuatan media alternatif dilakukan berdasarkan penelitian Juariah & Tiana (2021) yang telah dimodifikasi. Larutan ekstrak limbah biji (sesuai perlakuan) ditambahkan dengan agar bacto (25 g/l) dan gula (20 g/l). Untuk kontrol, digunakan media NA (Merck, Jerman) dengan takaran 20 g/l. Kemudian masing-masing media disterilisasi menggunakan autoklaf (Hirayama, Jepang) pada suhu 121 °C selama 15 menit.

2.3.2 Inokulasi Bakteri *Bacillus subtilis*

Isolat *Bacillus subtilis* (FNCC 0059, UGM) ditumbuhkan pada media NA dengan menggunakan pengenceran bertingkat (Juariah & Tiana, 2021). Sebanyak 9 ml NaCl fisiologis (0,9%) dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan disterilisasi. Kemudian 1 ml suspensi isolat bakteri ditambahkan ke dalamnya dan dihomogenkan menggunakan *vortex* (Gemmy, Taiwan). Suspensi tiap pengenceran dicampurkan dengan media NA pada cawan petri dan diamati pertumbuhan bakteri selama 24 jam. Jumlah koloni bakteri yang dapat digunakan sebagai dasar untuk tahap *Total Plate Count* (TPC) adalah pengenceran 10^{-7} dan 10^{-8} . Selanjutnya, suspensi bakteri pada masing-masing pengenceran tersebut ditumbuhkan pada media pertumbuhan secara *pour plate* dan diinkubasi di suhu 37°C selama 1x24 jam.

2.4 Prosedur Penelitian

2.4.1 Pembuatan Kurva Pertumbuhan Bakteri

Bakteri *Bacillus subtilis* diinokulasi pada media kontrol (NA) dan media limbah biji pepaya secara *pour plate* sesuai dengan faktor pengenceran dari tahap sebelumnya. Jumlah koloni bakteri

yang berkembang pada masing-masing media diamati per jam. Laju pertumbuhan bakteri ditentukan dengan menggunakan rumus *total plate count* (TPC) seperti yang dilakukan oleh (Safrida et al., 2019). Hasil perhitungan disajikan dalam bentuk *kurva pertumbuhan bakteri* per jam.

2.4.2 Uji Ketahanan Media

Indikator ketahanan media meliputi ketebalan, warna dan kekuatan media pertumbuhan bakteri. Ketebalan media ditentukan dari rata-rata tinggi empat titik di setiap ujung cawan petri. Selanjutnya, penentuan warna media berpedoman pada buku *Munsell Color Chart* (Kuehni, 2016). Kekuatan media ditentukan dengan memberikan beban secara berkala di atas media pertumbuhan bakteri dengan batang kaki tiga berujung bulat. Gaya yang diberikan oleh batang pada permukaan media dihitung dengan rumus $\frac{W}{\pi r^2}$, dimana W adalah berat beban pada batang kaki tiga, π sebesar $\frac{22}{7}$, dan r adalah jari-jari cawan petri (Ngamlerst et al., 2022).

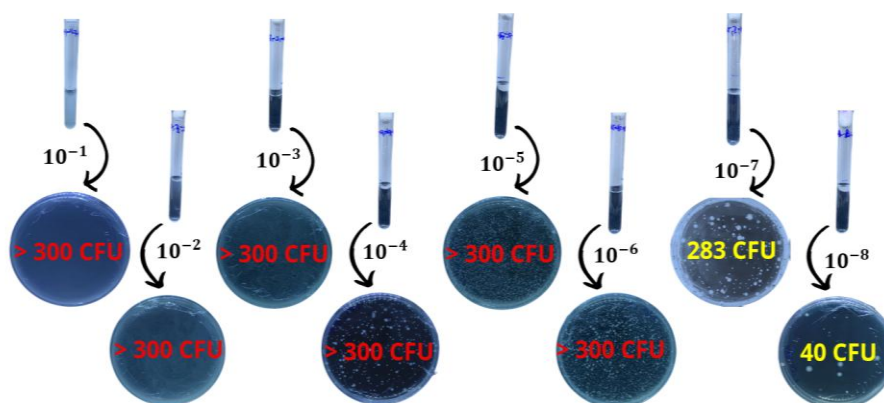
2.5 Analisis Data

Data hasil penelitian meliputi pertumbuhan bakteri dan uji ketahanan media. Pertumbuhan bakteri dianalisis secara kuantitatif melalui jumlah populasi dan viabilitas koloni *B. subtilis* dengan standar perhitungan CFU berdasarkan metode TPC. Data kuantitatif diuji signifikansinya menggunakan *analysis of variance* dan dilanjutkan dengan uji DMRT untuk melihat beda nyata diantara perlakuan. Sementara itu, analisis uji ketahanan media meliputi ketebalan, warna, dan ketahanan gel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pertumbuhan Bakteri *B. subtilis*

Penelitian ini mendapatkan data kurva pertumbuhan bakteri *Bacillus subtilis* yang diperoleh berdasarkan penghitungan jumlah koloni menggunakan metode *total plate count* (TPC). Tahap pertama yang dilakukan adalah menentukan faktor pengenceran yang sesuai (30-300 koloni / petri). Berdasarkan hasil pengamatan, didapatkan jumlah koloni bakteri pada pengenceran 10^{-7} dan 10^{-8} masing-masing sebanyak 283 cfu dan 40 cfu (Gambar 1). Sementara itu, pengenceran 10^{-1} hingga 10^{-6} melebihi 300 cfu. Angka 300 cfu merupakan ambang batas maksimal yang menunjukkan bahwa pengenceran yang menghasilkan angka tersebut tidak digunakan (Dhafin et al., 2023). Sehingga faktor pengenceran 10^{-7} dan 10^{-8} digunakan pada tahap selanjutnya.



Gambar 1. Penampakan koloni *B. subtilis* dari faktor pengenceran 10^{-1} sampai 10^{-8} pada media NA.

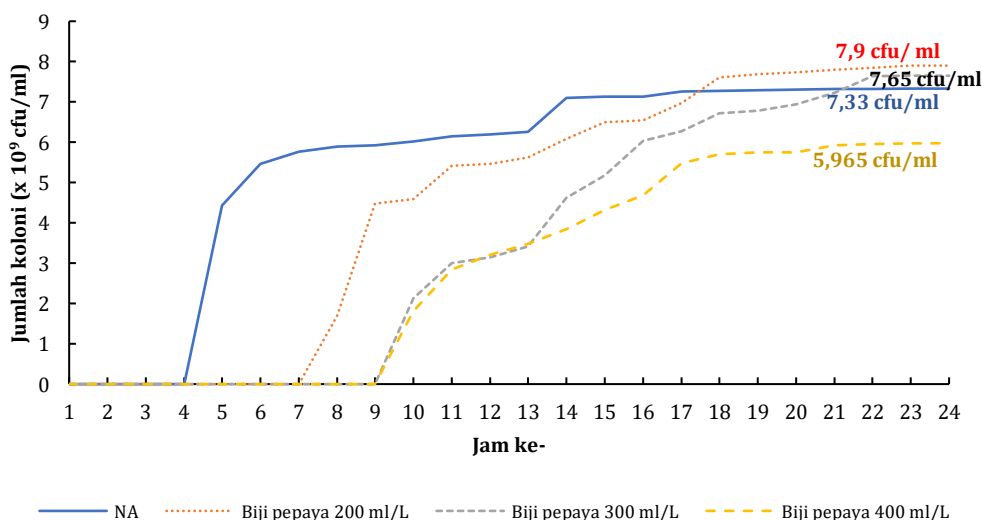
3.2 Jumlah Koloni *B. subtilis*

Pembuatan kurva pertumbuhan selanjutnya didasarkan pada data jumlah koloni bakteri di media NA (kontrol) dan media limbah biji pepaya (perlakuan). Hasil penelitian didapatkan data jumlah bakteri tertinggi berada pada media biji pepaya 200 ml/l, yaitu sebesar $7,9 \times 10^9$ cfu/ml; diikuti oleh media biji pepaya konsentrasi 300 ml/l, sebesar $7,65 \times 10^9$ cfu/ml. Sedangkan pada media NA sebesar $7,33 \times 10^9$ cfu/ml (Gambar 2). Pada media biji pepaya konsentrasi 400 ml/l menunjukkan jumlah koloni $5,965 \times 10^9$ cfu/ml. Penelitian Juariah & Tiana (2021) mengemukakan bahwa konsentrasi limbah biji berbanding lurus dengan kandungan karbohidrat di dalamnya. Pada penelitian ini diduga kandungan karbohidrat di limbah biji pepaya 400 ml/l tergolong tinggi, sehingga bakteri butuh adaptasi lebih lama untuk menggunakannya.

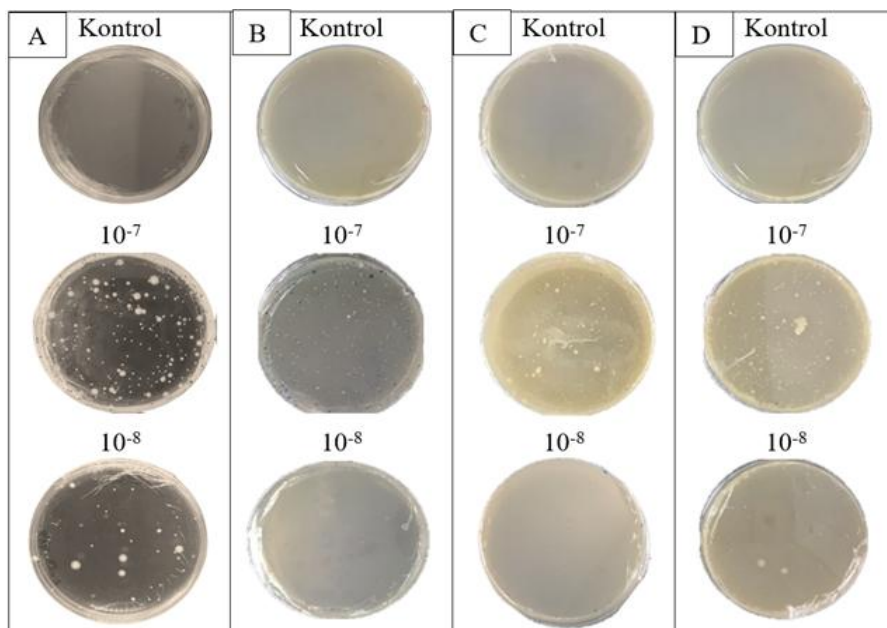
3.3 Viabilitas Koloni *B. subtilis*

Jumlah koloni bakteri yang tumbuh pada media biji pepaya konsentrasi 200 ml/l dan 300 ml/l lebih banyak dibandingkan dengan kontrol, meskipun begitu ukuran koloni yang muncul tampak lebih kecil dibandingkan dengan media NA (Gambar 3). Hal tersebut dapat terjadi karena pada media biji persaingan antara bakteri semakin tinggi sehingga bakteri tidak dapat membesar. Berbeda halnya dengan ukuran bakteri di media NA yang dapat membesar karena tingkat persaingannya rendah. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Sakinah & Mauboy (2019), ditunjukkan bahwa pada nutrient agar bakteri mudah diamati dibandingkan dengan media biji lain dengan ukuran bakteri lebih kecil tetapi jumlahnya banyak. Hal tersebut dimungkinkan karena adanya perbedaan sumber karbon yang digunakan oleh bakteri, limbah biji digunakan sebagai sumber karbon untuk bakteri bertahan hidup di dalam media agar. Adaptasi tersebut dapat menyebabkan ukuran koloni bakteri menjadi lebih kecil dibandingkan dengan kontrol.

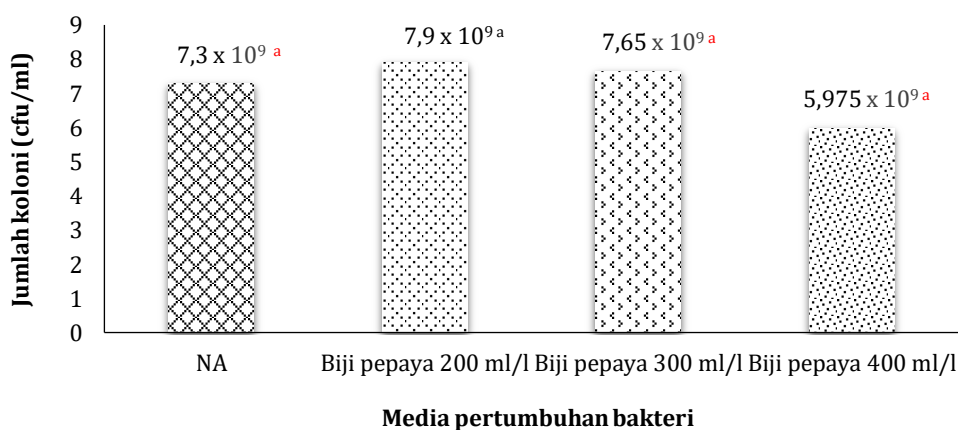
Fenomena adaptasi bakteri pada media yang baru dapat ditunjukkan pada kurva pertumbuhan bakteri yang terlihat pada Gambar 3. Fase *lag* menunjukkan ada perbedaan yang signifikan. Pada media NA, bakteri membutuhkan 4 jam untuk mengawali fase pertumbuhan logaritmik (*log phase*). Sedangkan pada media limbah biji pepaya 200 ml/l, bakteri membutuhkan waktu lebih lama (7 jam). Tren menunjukkan hal serupa ketika konsentrasi limbah biji pepaya ditambah.



Gambar 2. Kurva Pertumbuhan *B. subtilis* pada media NA dan media biji pepaya



Gambar 3. Penampakan koloni bakteri *Bacillus subtilis* pada berbagai macam media: (A) media NA (kontrol); (B) media biji pepaya 200 ml/l; (C) media biji pepaya 300 ml/l; dan (D) media biji pepaya 400 ml/l.

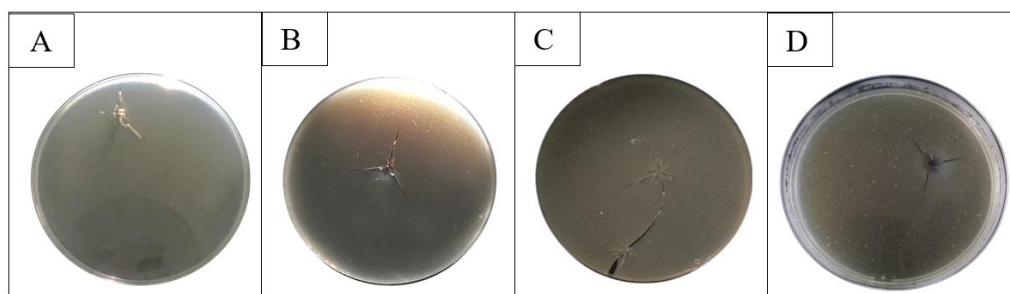


Gambar 4. Histogram uji DMRT jumlah bakteri *B. subtilis* pada berbagai media pertumbuhan setelah selama 24 jam.

Setelah 24 jam bakteri menunjukkan pertumbuhan yang konsisten tidak mengalami penambahan jumlah koloni. Pada kondisi tersebut diasumsikan bahwa bakteri sudah mengalami fase stasioner. Jumlah koloni bakteri yang dapat terhitung juga menunjukkan perbedaan seperti yang telah dipaparkan sebelumnya. Untuk memastikan apakah ada perbedaan nyata atau tidak antar perlakuan, dilakukan uji pembuktian statistik. Hasil uji DMRT menunjukkan bahwa tidak ada beda nyata antar perlakuan terhadap jumlah koloni bakteri *B. subtilis* (Gambar 4). Laurelta (2020) menyebutkan bahwa nutrisi kompleks pada media akan menyebabkan pertumbuhan bakteri lebih lama untuk menguraikan unsur-unsur sederhana agar mampu diserap oleh sel dan digunakan untuk sintesis sel dan energi. Respons bakteri yang ditunjukkan oleh jumlah koloni hingga 24 jam inkubasi terhadap ketiga konsentrasi ekstrak limbah biji pepaya adalah sama dibandingkan terhadap media NA.

Tabel 1. Hasil Uji Ketahanan Media

No	Media	Warna	Ketebalan (cm)	Ketahanan gel (g/cm ²)
1	NA	Kuning gelap	0,375	1,541
2	Biji pepaya 200ml/l	Kuning terang	0,300	2,027
3	Biji pepaya 300ml/l	Kuning kemerahan cerah	0,292	1,922
4	Biji pepaya 400ml/l	Kuning kemerahan kusam	0,242	1,146



Gambar 5. Penampakan media pertumbuhan pada uji ketahanan: (A) media NA; (B) media limbah biji pepaya 200 ml/l; (C) media limbah biji pepaya 300 ml/l; dan (D) media limbah biji pepaya 400 ml/l.

Selanjutnya, media limbah biji pepaya dilihat karakteristiknya dengan pengamatan fisik, seperti warna, konsistensi, keberadaan gelembung, keretakan media, kecepatan pepadatan, dan kekuatan gel. Hasil karakterisasi media menunjukkan warna yang bervariasi (Tabel 1) menurut skala warna dari *Munsell Color Chart* (Kuehni, 2016). Adapun warna media bersifat tetap dan tidak berubah selama pengamatan 24 jam. Sementara itu, ketebalan media terukur berkisar antara 24 – 37 mm. Hal tersebut ternyata tidak mempengaruhi ketahanan gel. Kekuatan gel diukur dengan pemberian beban menggunakan batang kaki tiga yang diletakkan di atas media hingga hancur (Ngamlerst *et al.*, 2022).

3.4 Ketahanan Media Tumbuh

Berdasarkan pengamatan, media biji pepaya 200 ml/l dan 300 ml/l lebih kuat dibandingkan dengan media NA. Ketahanan media NA hanya sekitar 1,54 g/cm², sedangkan media biji pepaya 200 ml/l mencapai sekitar 2 g/cm² (Gambar 5). Hal tersebut menandakan bahwa media biji pepaya dapat digunakan sebagai media alternatif pengganti media NA. Secara umum penelitian ini berhasil membuktikan kemampuan limbah biji pepaya sebagai salah satu alternatif bahan baku pembuatan media pertumbuhan bakteri pengganti media NA, khususnya untuk bakteri *B. subtilis*. Meskipun demikian, masih diperlukan penelitian lanjutan untuk menentukan formulasi baku media alternatif pada beberapa bakteri lain diluar genus *Bacillus*.

Pada penelitian ini dapat disimpulkan sementara bahwa media dari limbah biji pepaya memiliki kemampuan yang sama dengan media NA komersial, untuk menumbuhkan bakteri *B. subtilis*. Ketiga konsentrasi media limbah biji pepaya (200 ml/l, 300 ml/l, dan 400 ml/l) masing-masing menunjukkan jumlah koloni bakteri yang tidak berbeda nyata secara statistik.

4. KESIMPULAN

Limbah biji pepaya efektif digunakan sebagai tambahan untuk membuat media pertumbuhan bakteri *Bacillus subtilis*. Pada uji ketahanan media limbah biji pepaya memiliki kekuatan gel yang lebih baik daripada media NA. Sedangkan kualitas warna dan ketebalan limbah biji pepaya sama dengan media NA, ditunjukkan dengan tidak adanya perubahan selama 24 jam.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis haturkan kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian ini. Khususnya kepada Direktorat Jenderal Pembelajaran dan Kemahasiswaan (DitJen Belmawa) di bawah Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia (DitJen Dikti Kemendikbudristek), serta Universitas Tidar yang telah memberikan dana dan dukungan untuk penelitian ini hingga selesai.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Adomi, P. O., & Oyubu, O. L. (2023). Formulation and cultivation of microorganism using alternative media from agricultural wastes. *Journal of Advances in Microbiology Research*, 4(1), 26–31.
- Anbu, S., Padma, J., Punithavalli, K., & Saranraj, P. (2017). Fruits peel waste as a novel media for the growth of economically important fungi. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(6), 426–428.
- Dewi, K. A. S., Hikmah, D., Rinawati, Marlia, S., & Hadi, F. (2024). Pengelolaan sampah rumah tangga dengan meningkatkan nilai keekonomian sampah, dalam rangka mewujudkan pembangunan ekonomi berkelanjutan. *Komunity: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 3(1), 11–46. <https://doi.org/10.58413/jkpkm.v3i1.429>
- Dewi, N., Bahri, S., Jalaluddin, J., Masrulita, M., & Sulhatun, S. (2022). Pembuatan tepung dari biji mangga. *Chemical Engineering Journal Storage*, 2(4), 1–15. <https://doi.org/10.29103/cejs.v2i4.6098>
- Dhafin, A. A., Dhafin, E. M., Muslikh, F. A., & Prasetyawan, F. (2023). Total plate count test for bacteria in home industry baby porridge in the Malang City area. *Contemporary Journal of Applied Sciences*, 1(1), 25–32. <https://doi.org/10.55927/cjas.v1i1.7036>
- Grahovac, J., Pajčin, I., & Vlajkov, V. (2023). *Bacillus* VOCs in the context of biological control. *Antibiotics*, 12(3), Article 581. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12030581>
- Guo, S., Li, X., He, P., Ho, H., Wu, Y., & He, Y. (2015). Whole-genome sequencing of *Bacillus subtilis* XF-1 reveals mechanisms for biological control and multiple beneficial properties in plants. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 42(6), 925–937. <https://doi.org/10.1007/s10295-015-1612-y>
- Ismail, S. N., & Safie, S. (2025). Comparative study of banana, mango and papaya waste as natural media for microbial growth. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Komputer dan Sains*, 3(1), 277–280.
- Juari, S., & Tiana, R. (2021). Media alternatif pertumbuhan *Staphylococcus aureus* dari biji durian (*Durio zibethinus* Murr.). *Meditory: The Journal of Medical Laboratory*, 9(1), 19–25. <https://doi.org/10.33992/m.v9i1.1400>
- Kim, I. J., Park, S., Kyoung, H., Song, M., & Kim, S. R. (2024). Microbial valorization of fruit processing waste: Opportunities, challenges, and strategies. *Current Opinion in Food Science*, 56, Article 101147. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2024.101147>
- Kuehni, R. G. (2016). Munsell, Albert Henry. In *Encyclopedia of color science and technology* (pp. 949–951). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8071-7_307

- Laurelta, T.-A. (2020). The effects of enrichment nutrients on the growth of indigenous bacteria species in spent lubricating oil contaminated water. *Journal of Applied Life Sciences International*, 23(3), 39–48. <https://doi.org/10.9734/JALSI/2020/v23i330152>
- Lyng, M., & Kovács, Á. T. (2023). Frenemies of the soil: *Bacillus* and *Pseudomonas* interspecies interactions. *Trends in Microbiology*, 31(8), 845–857. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2023.02.003>
- Maral-Gül, D., & Eltem, R. (2025). Evaluation of *Bacillus* isolates as a biological control agents against soilborne phytopathogenic fungi. *International Microbiology*, 28(Suppl 1), 75–89. <https://doi.org/10.1007/s10123-024-00490-1>
- Mas'ud, S. E., & Wahyuningsih, S. (2022). *Statistik konsumsi pangan Indonesia tahun 2022*. Pusat Data dan Informasi Pertanian, Sekretariat Jenderal, Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Ngamlerst, C., Prangthip, P., Leelawat, B., Supawong, S., & Vattanakul, S. (2022). A vital role of high-pressure processing in the gel forming on new healthy egg pudding through texture, microstructure, and molecular impacts. *Foods*, 11(17), Article 2555. <https://doi.org/10.3390/foods11172555>
- Nion, Y. A., Kamillah, K., Fauziah, E. R., Pandriyani, P., & Djauhari, R. (2025). Waste, tubers and seeds from peat land as an alternative media for fungal growth media. *Journal of Wetlands Environmental Management*, 13(1), 1–9. <https://doi.org/10.20527/ijwem.v13i1.22217>
- Novianto, E. D., Pradipta, M. S. I., Suwasdi, S., Mursilati, M., & Purnomo, S. B. (2020). Pemanfaatan limbah agroindustri kacang tanah sebagai media pertumbuhan mikrobia probiotik *Lactobacillus bulgaricus*. *AGRITEKNO: Jurnal Teknologi Pertanian*, 9(1), 35–41. <https://doi.org/10.30598/jagritekno.2020.9.1.35>
- Pangerang, F., Lesmana, R., Aisyah, S., & Muazansyah, I. (2024). Pemanfaatan limbah buah dan sayur melalui pembuatan eco-enzyme guna meningkatkan kelestarian lingkungan Tanjung Palas. *Jurnal Benuanta*, 3(1), 18–23. <https://doi.org/10.61323/jb.v3i1.89>
- Pasaribu, A., & Fransiska, H. (2022). Pemanfaatan limbah buah sebagai pembuatan pupuk organik cair dalam upaya pemberdayaan ekonomi masyarakat Kelurahan Kampung Pensiunan pada masa pandemi COVID-19. *TRIBUTE: Journal of Community Services*, 3(1), 37–44. <https://doi.org/10.33369/tribute.v3i1.17936>
- Safrida, Y. D., Raihanaton, R., & Ananda, A. (2019). Uji cemaran mikroba dalam susu kedelai tanpa merek di Kecamatan Jaya Baru Kota Banda Aceh secara total plate count (TPC). *Serambi Engineering*, 4(1), 364–371. <https://doi.org/10.32672/jse.v4i1.845>
- Sakinah, A. A. A., Mauboy, R. S., & Refli. (2019). Penggunaan media tepung limbah ikan cakalang untuk pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. *Jurnal Biotropikal Sains*, 16(3), 36–46.
- Subagio, B. B., Nursyahid, A., Mara, M. N., & Rochmatika, R. A. (2023). Pengolahan limbah kulit buah dan sayuran menjadi obat luka. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Indonesia*, 3(5), 667–672. <https://doi.org/10.52436/1.jpmi.1644>
- Syamsiah, S., Thayeb, A. M., & Arsal, A. F. (2021). Pemanfaatan limbah buah dan sayuran sebagai bahan baku pembuatan POC. In *Prosiding Seminar Nasional Hasil Pengabdian* (pp. 1–12).
- Vinha, A. F., Costa, A. S. G., Espírito Santo, L., Ferreira, D. M., Sousa, C., Pinto, E., Almeida, A., & Oliveira, M. B. P. P. (2024). High-value compounds in papaya by-products (*Carica papaya* L. var. Formosa and Aliança): Potential sustainable use and exploitation. *Plants*, 13(7), Article 1009. <https://doi.org/10.3390/plants13071009>
- Wibowo, A., Wibowo, A., & Fathul, F. (2017). Identification of nutrients content in food fruits seeds market in Bandar Lampung. *Jurnal Ilmiah Peternakan Terpadu*, 5(1), 23–27.
- Zamilah, M., Ruhimat, U., & Setiawan, D. (2020). Media alternatif kacang tanah untuk pertumbuhan bakteri. *Journal of Indonesian Medical Laboratory and Science (JoIMedLabS)*, 1(1), 57–65. <https://doi.org/10.53699/joimedlabs.v1i1.11>

Zhao, J., Cao, W., Zhou, Q., Yang, J., Zhou, T., Zhao, H., Wang, Z., Zhang, R., & Zhao, H. (2025). Biological control of fusarium head blight in wheat using secondary metabolites of *Bacillus subtilis* BS-Z15. *BMC Plant Biology*, 25, Article 1668. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-07251-w>