

PEMANFAATAN LIMBAH CANGKANG TELUR SEBAGAI PUPUK ORGANIK

(Utilization Of Eggshell Waste As Organic Fertilizer)

Agusriadi Dwi Putra*, Helmi Yahya, La Ifa, Syamsul Bakhri

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia, Jl. Urip Sumaharjo No.Km5 Panaikang, Panakukang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90231, Indonesia

Inti Sari

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi ukuran cangkang telur dan konsentrasi EM4 terhadap komposisi unsur hara pada pupuk cair organik (POC). Variasi ukuran cangkang telur yang digunakan adalah 100 mesh, 120 mesh, dan 150 mesh, dengan variasi konsentrasi EM4 sebesar 10%, 20%, 30%, dan 40%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua sampel memiliki nilai pH yang berada dalam rentang standar SNI (4-8), yaitu antara 5-6,5. Kandungan nitrogen tertinggi adalah 0,25% pada sampel ukuran 150 mesh dengan konsentrasi EM4 40%, namun masih di bawah standar SNI (>4%). Kandungan fosfor tertinggi sebesar 0,18% pada sampel ukuran 120 mesh dengan konsentrasi EM4 40% sudah sesuai dengan standar SNI, sementara kandungan kalium tertinggi sebesar 0,22% pada sampel ukuran 100 mesh dengan konsentrasi EM4 40% juga sesuai dengan standar SNI. Konsentrasi EM4 optimal ditemukan sebesar 40%, dengan kandungan NPK tertinggi: Nitrogen 0,21%, Fosfor 0,16%, dan Kalium 0,197%. Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi ukuran cangkang telur dan konsentrasi EM4 mempengaruhi kualitas pupuk cair organik yang dihasilkan. Meskipun nilai pH, fosfor, dan kalium pada beberapa variasi sudah sesuai dengan standar SNI, kandungan nitrogen masih perlu ditingkatkan untuk memenuhi standar

Kata Kunci: Cangkang Telur, Pupuk Organik Cair, EM4, Nitrogen, Fosfor, Kalium

Key Words : Eggshell, Organic Liquid Fertilizer, EM4, Nitrogen, Phosphorus, Potassium.

Abstract

This study aims to evaluate the effect of variations in eggshell size and EM4 concentration on the nutrient composition of organic liquid fertilizer (OLF). The variations in eggshell size used were 100 mesh, 120 mesh, and 150 mesh, with variations in EM4 concentration of 10%, 20%, 30%, and 40%. The results of the study showed that all samples had pH values within the SNI standard range (4-8), which is between 5-6.5. The highest nitrogen content was 0.25% in the 150 mesh sample with 40% EM4 concentration, but this was still below the SNI standard (>4%). The highest phosphorus content was 0.18% in the 120 mesh sample with 40% EM4 concentration, which met the SNI standard, while the highest potassium content was 0.22% in the 100 mesh sample with 40% EM4 concentration, also meeting the SNI standard. The optimal EM4 concentration was found to be 40%, with the

Published by

Department of Chemical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Universitas Muslim Indonesia, Makassar

Address

Jalan Urip Sumohardjo km. 05 (Kampus 2 UMI)
Makassar- Sulawesi Selatan

Email :

jmpe@umi.ac.id

***Corresponding Author**

agusrdp20@gmail.com



Journal History

Paper received : 06 Juni 2024
Received in revised : 10 Juli 2024
Accepted : 12 Agustus 2024

highest NPK content: Nitrogen 0.21%, Phosphorus 0.16%, and Potassium 0.197%. This study indicates that variations in eggshell size and EM4 concentration affect the quality of the organic liquid fertilizer produced. Although the pH, phosphorus, and potassium values in some variations met the SNI standards, the nitrogen content still needs to be increased to meet the standard.

PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk dunia yang terus meningkat sejalan dengan perubahan pola konsumsi masyarakat telah menimbulkan tantangan besar dalam pemenuhan kebutuhan pangan secara berkelanjutan. Dalam menghadapi tantangan ini, pertanian modern cenderung mengandalkan penggunaan pupuk kimia untuk meningkatkan produktivitas tanaman. Meskipun pupuk kimia dapat meningkatkan hasil pertanian, penggunaannya secara berlebihan dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia [1].

Pertumbuhan populasi manusia yang terus meningkat telah mengakibatkan peningkatan kebutuhan akan pangan yang berkelanjutan. Seiring dengan itu, meningkatnya penggunaan pupuk kimia telah menjadi suatu perhatian, karena dapat menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Salah satu solusi yang dapat dijelajahi untuk mengatasi masalah ini adalah dengan memanfaatkan limbah organik sebagai bahan baku pupuk [2].

Cangkang telur, yang umumnya dianggap sebagai limbah, mengandung nutrisi yang bermanfaat bagi tanaman, seperti kalsium, magnesium, fosfor, dan elemen jejak lainnya. Selain itu, limbah cangkang telur memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi pupuk organik cair, yang memiliki keunggulan dalam kemudahan aplikasi, penyerapan cepat oleh tanaman, dan efisiensi dalam memasok nutrisi bagi tanaman [3]. Limbah cangkang telur yang tidak dimanfaatkan dapat menimbulkan pencemaran lingkungan karena pada cangkang telur memiliki komposisi utama CaCO_3 yang dapat menyebabkan terjadinya polusi karena aktivitas mikroba di lingkungan. Cangkang telur mengandung hampir 95,1% terdiri atas garam-garam organik, 3,3% bahan organik (terutama protein), dan 1,6% air. Sebagian besar bahan organik terdiri atas persenyawaan Kalsium Karbonat (CaCO_3) sekitar 98,5% dan Magnesium Karbonat (MgCO_3) sekitar 0,85% [4]. Pengomposan dapat mengawetkan kelebihan unsur yang terkandung di dalam suatu limbah, seperti unsur Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) [5].

Solusi yang terus dikembangkan adalah penggunaan pupuk organik, yang dihasilkan dari bahan-bahan organik alami. Pupuk organik memiliki keunggulan dalam meningkatkan kesuburan tanah, memperbaiki struktur tanah, dan mengurangi risiko pencemaran lingkungan. Salah satu limbah organik yang melimpah adalah cangkang telur. Cangkang telur, meskipun sering dianggap sebagai limbah, sebenarnya mengandung berbagai nutrisi yang bermanfaat bagi tanaman, seperti kalsium, magnesium, dan elemen jejak lainnya. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah cangkang telur sebagai bahan baku pupuk organik cair dapat menjadi alternatif yang ramah lingkungan. Pupuk organik cair adalah jenis pupuk yang berbentuk cair dan berasal dari bahan-bahan organik alami. Pupuk ini dikenal memiliki keunggulan dalam memberikan nutrisi yang dibutuhkan tanaman secara langsung, cepat diserap, dan meningkatkan kesuburan tanah. Pupuk cair organik juga dapat dimanfaatkan sebagai activator untuk membuat kompos [2].

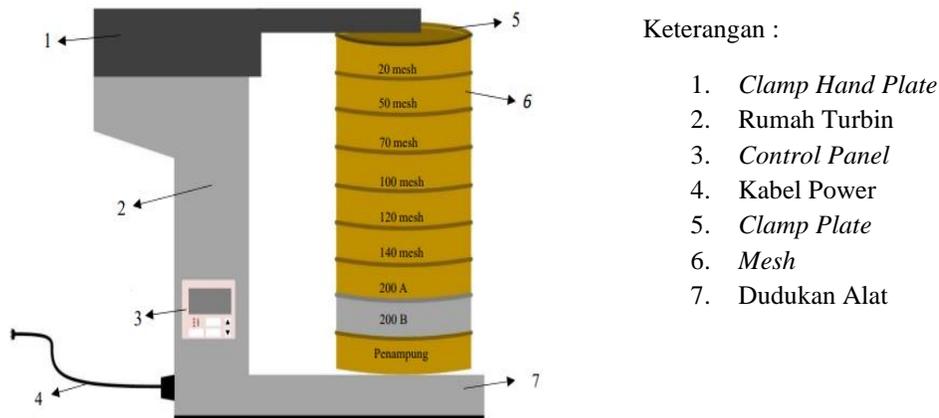
Kalsium karbonat tidak dapat larut dalam air, kecuali dengan menggunakan air panas dengan waktu yang lama. Kalsium karbonat mampu larut di dalam larutan yang bersifat asam. Oleh karena itu pada penelitian ini peneliti menggunakan larutan EM4 (Effective Microorganism) sebagai inokulan untuk memanfaatkan limbah cangkang telur menjadi pupuk organik cair. Karena EM4 merupakan bioaktivator yang bersifat asam [4].

Effective Microorganism atau yang lebih dikenal sebagai EM4, adalah campuran mikroorganisme yang digunakan untuk meningkatkan kualitas tanah dan pupuk organik. Produk ini dikembangkan oleh Dr. Teruo Higa, seorang ilmuwan pertanian asal Jepang, pada tahun 1982. EM4 merupakan formulasi khusus yang terdiri dari sejumlah mikroorganisme yang bekerja secara sinergis untuk meningkatkan kesehatan tanah, mengurangi bau tidak sedap, dan mempercepat dekomposisi bahan organik. EM4 dapat diaplikasikan sebagai inokulan untuk meningkatkan keanekaragaman dan populasi mikroorganisme di dalam tanah dan tanaman [6].

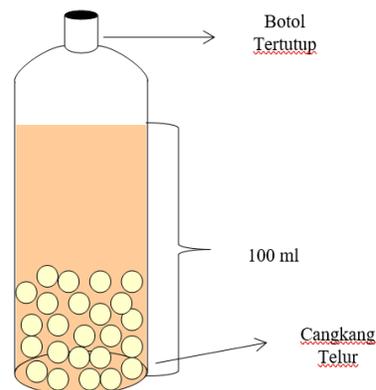
Penelitian terkait telah dilakukan oleh Maulidina 2019 [7] yang berjudul pengolahan cangkang telur ayam menjadi POC menggunakan EM4 sebagai inokulan dengan menggunakan konsentrasi EM4 30%. Pada penelitian ini diperoleh nilai NPK yang sesuai standar. Namun pada penelitian ini konsentrasi EM4 yang digunakan masih tinggi dan ukuran cangkang telur yang digunakan juga masih bervariasi sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui konsentrasi EM4 yang optimum dan ukuran cangkang telur terbaik. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk memanfaatkan limbah cangkang telur sebagai bahan baku pembuatan pupuk organik cair.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan bahan baku utama cangkang telur ayam yang diperoleh dari limbah industri pembuatan kue dan roti di daerah Mancobalang, Kec. Barombong, Kab. Gowa, Sulawesi Selatan. Bahan lainnya yaitu EM4, dan aquadest. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat *sieving* dengan ukuran 150 mesh, botol bertutup, blender, gelas ukur, spatula, timbangan, termometer, pH meter, buret, statif buret, pipet tetes, pengaduk magnet, erlenmeyer, dan pipet ukur, Spektrofotometer, dan AAS.



Gambar 1 Rangkaian Alat *Sieving*



Gambar 2 Alat Utama

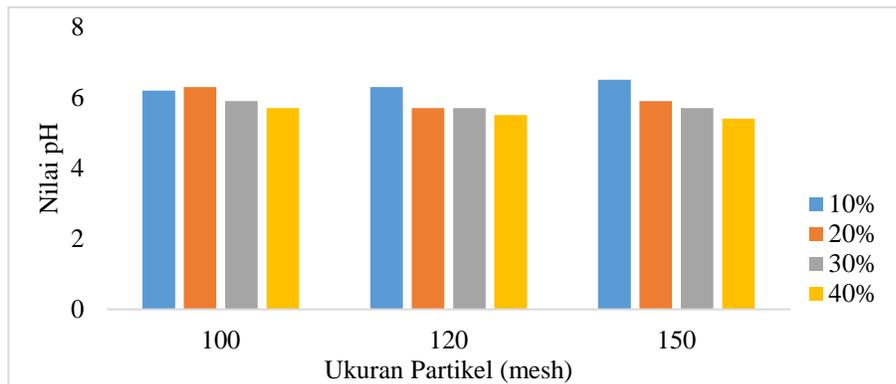
Pembuatan pupuk cair organik dilakukan dengan menggunakan botol bertutup [8]. Cangkang telur ayam yang sudah kering kemudian di haluskan dengan menggunakan blender hingga menjadi serbuk cangkang telur kemudian diayak dengan ukuran 100 mesh, 120 mesh dan 150 mesh. Setiap sampel diperlukan serbuk cangkang telur ayam sebanyak 100 gram dilarutkan dalam EM4 dengan variasi dosis yang berbeda (0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 100%). Setelah itu masing-masing sampel larutan ditambahkan aquades dengan jumlah takaran yang berbeda hingga menghasilkan 100% (100 mL) larutan. Variabel pertama 100 gram bubuk cangkang telur 100 mesh dilarutkan dengan EM4 cair 10% (50 mL) kemudian ditambah dengan aquades sebanyak 450 mL. Untuk variabel selanjutnya menggunakan metode yang sama. Masing-masing sampel di atas dibiarkan terurai (fermentasi) selama 7 hari dalam wadah tertutup pada suhu ruangan (27 -29°C) [9]. Selama proses fermentasi berlangsung, setiap hari dilakukan pembukaan tutup untuk aerasi dan juga membebaskan gas yang diproduksi selama proses berlangsung [10]. Produk pupuk cair organik yang dihasilkan dianalisa kandungan nitrogen menggunakan metode titrasi, kandungan fosfor menggunakan alat spektrofotometer, dan kandungan kalium menggunakan alat AAS [11].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Variasi Ukuran Cangkang Telur Terhadap Komposisi Pupuk Cair Organik

Analisis Nilai pH

Nilai pH merupakan parameter penting dalam menentukan kualitas pupuk cair organik. Nilai pH mempengaruhi kelarutan dan ketersediaan unsur hara dalam pupuk cair. pH yang terlalu rendah (asam) atau terlalu tinggi (basa), beberapa unsur hara penting seperti nitrogen, fosfor, dan kalium bisa menjadi kurang tersedia bagi tanaman karena berubah menjadi bentuk yang tidak mudah diserap oleh akar tanaman [12]. Hasil pengujian pH pupuk cair organik dapat dilihat pada Gambar 3.

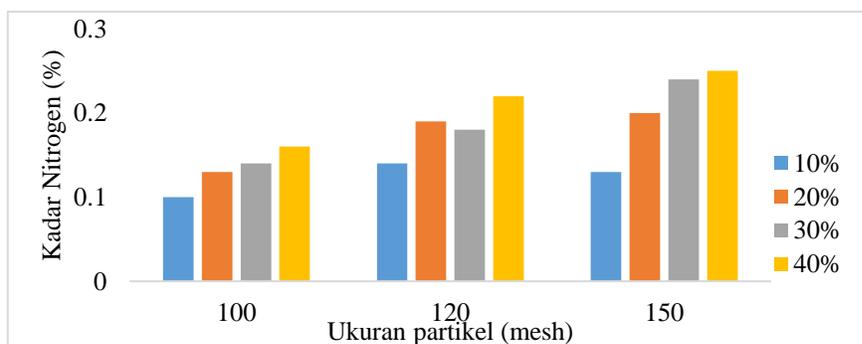


Gambar 3 Nilai pH Produk Pupuk Cair Organik (POC)

Gambar 3 menyajikan data nilai pH produk pupuk cair organik dengan variasi ukuran cangkang telur dan variasi konsentrasi EM4. Berdasarkan SNI 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Pupuk Organik standar nilai pH POC berada pada range 4-8 [13]. Gambar 3 diatas menyatakan bahwa nilai pH semua sampel berada pada range 5 – 6,5. Penelitian Meriatna et.al., menunjukkan range pH pupuk cair organik sebesar 5,5 – 5,7 dan sesuai dengan standar SNI (4-8) [9]. Semua nilai pH pada penelitian ini sudah sesuai dengan standar SNI, sehingga produk pada komposisi ini dapat dipertimbangkan untuk dikembangkan dengan memperhatikan kandungan unsur hara lainnya.

Analisis Kandungan Nitrogen

Nitrogen memiliki peran dalam merangsang pertumbuhan anakan dan memegang peran penting dalam pembentukan daun hijau yang essensial dalam proses fotosintesis [14]. Hasil pengujian kadar nitrogen pupuk cair organik dapat dilihat pada Gambar 4



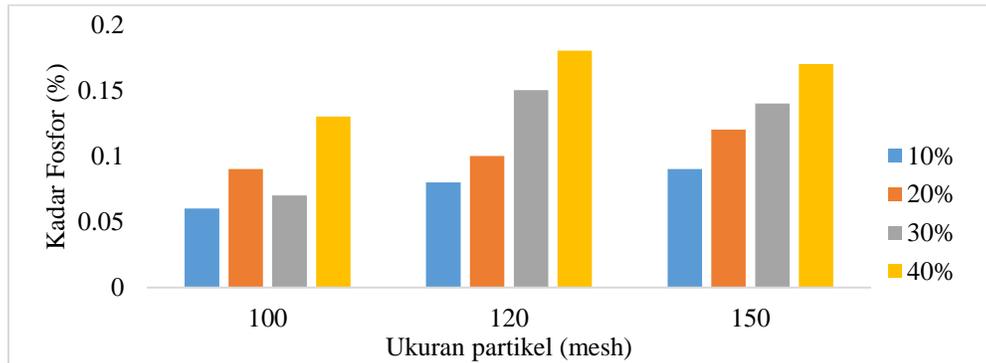
Gambar 4 Kandungan Nitrogen Produk Pupuk Cair Organik (POC)

Gambar 4 menyajikan data kandungan nitrogen produk pupuk cair organik dengan variasi ukuran cangkang telur dan variasi konsentrasi EM4. Berdasarkan SNI 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Pupuk Organik standar kandungan nitrogen POC yaitu > 4%. Gambar 4 diatas menyatakan bahwa kandungan nitrogen tertinggi sebesar 0,25% pada sampel ukuran 150 mesh dengan konsentrasi EM4 40%. Kandungan nitrogen tertinggi tidak sesuai dengan standar SNI. Pada penelitian Rahmadina dan Efrida kadar nitrogen POC dari cangkang telur yang diperoleh juga tidak mencapai standar SNI dan hanya diperoleh sebesar 0,18% [1]. Hal ini dikarenakan karena beberapa factor

seperti bahan baku cangkang telur ayam yang digunakan memiliki kandungan nitrogen yang rendah karena terdiri terutama dari kalsium karbonat. Bahan baku tambahan diperlukan untuk meningkatkan kandungan nitrogen seperti limbah buah-buahan. Pada penelitian Meriatna et.al. pembuatan pupuk cair dari limbah buah-buahan dapat menghasilkan kadar nitrogen sebesar 13,4% dan sesuai dengan standar SNI ($N\% > 4\%$) [9].

Analisis Kandungan Fosfor

Senyawa fosfor memiliki peran signifikan dalam proses pembelahan sel, merangsang pertumbuhan awal pada akar, pemasakan buah, transportasi energi dalam sel, pembentukan buah, dan produksi biji [14]. Hasil pengujian kadar fosfor pupuk cair organik dapat dilihat pada Gambar 5

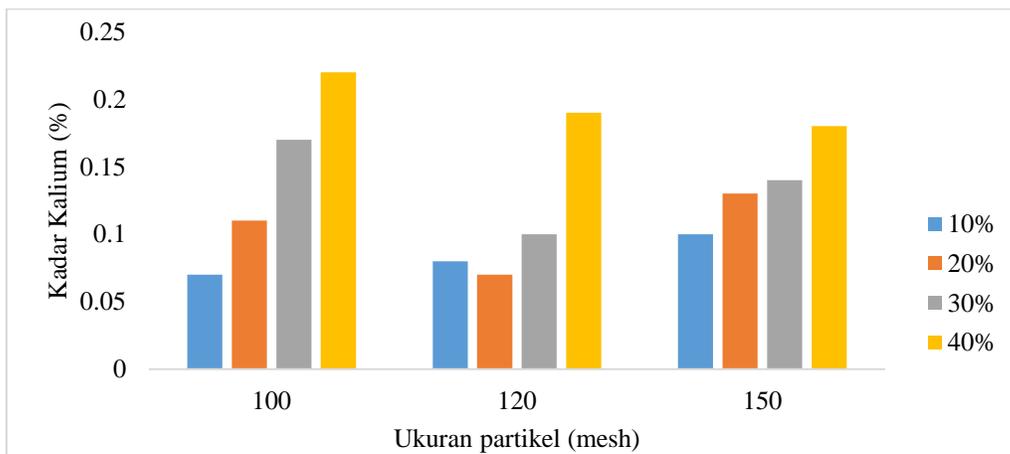


Gambar 5 Kandungan Fosfor Produk Pupuk Cair Organik (POC)

Gambar 5 menyajikan data kandungan fosfor produk pupuk cair organik dengan variasi ukuran cangkang telur dan variasi konsentrasi EM4. Berdasarkan SNI 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Pupuk Organik standar kandungan fosfor POC yaitu $> 0,1\%$. Gambar 5 diatas menyatakan bahwa kandungan fosfor tertinggi sebesar 0,18% pada sampel ukuran 120 mesh dengan konsentrasi EM4 40%. Kemudian disusul oleh nilai fosfor 0,17 pada sampel ukuran 150 mesh dengan konsentrasi EM4 40%. Penelitian Rahmadina dan Efrida memperoleh kadar fosfor POC dari cangkang telur yang diperoleh sebesar 7% dan sesuai dengan standar SNI [1]. Kandungan fosfor tertinggi pada penelitian ini sudah sesuai dengan standar SNI, sehingga produk pada komposisi ini dapat dipertimbangkan untuk dikembangkan dengan memperhatikan kandungan unsur hara lainnya.

Analisis Kandungan Kalium

Kalium memiliki peran dalam pembentukan protein dan karbohidrat, pengerasan bagian kayu tanaman, peningkatan kualitas biji dan buah, serta meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan hama dan penyakit [14]. Hasil pengujian kadar kalium pupuk cair organik dapat dilihat pada Gambar 6



Gambar 6 Kandungan Kalium Produk Pupuk Cair Organik (POC)

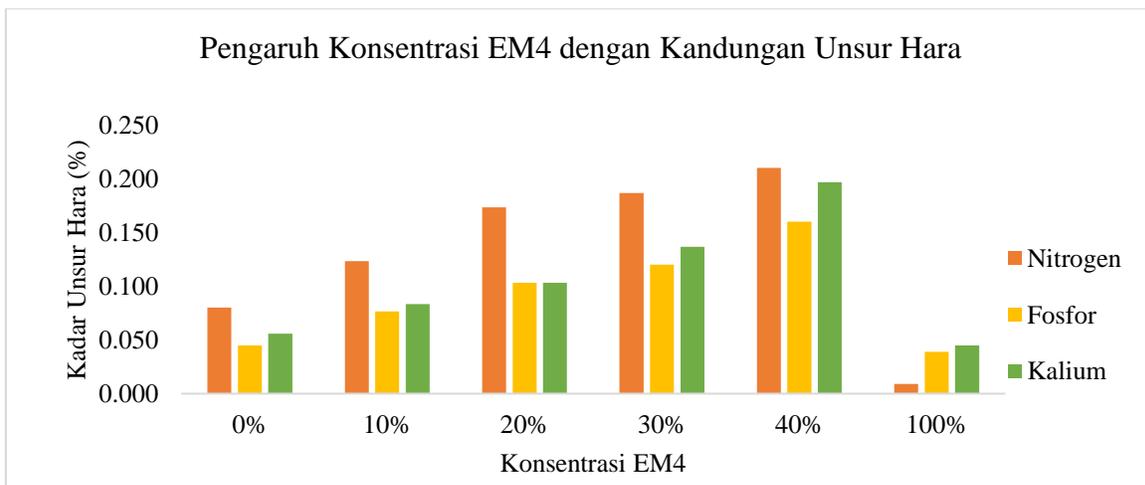
Gambar 6 menyajikan data kandungan kalium produk pupuk cair organik dengan variasi ukuran cangkang telur dan variasi konsentrasi EM4. Berdasarkan SNI 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Pupuk Organik standar kandungan

kalium POC yaitu $> 0,2\%$. Gambar 6 diatas menyatakan bahwa kandungan kalium tertinggi sebesar $0,22\%$ pada sampel ukuran 100 mesh dengan konsentrasi EM4 40%. Penelitian Rahmadina dan Efrida memperoleh kadar kalium POC dari cangkang telur sebesar 8% dan sesuai dengan standar SNI [1]. Kandungan kalium tertinggi pada penelitian ini sudah sesuai dengan standar SNI, sehingga produk pada komposisi ini dapat dipertimbangkan untuk dikembangkan dengan memperhatikan kandungan unsur hara lainnya.

Hasil penelitian menunjukkan ukuran cangkang telur sedikit berpengaruh terhadap kandungan unsur hara pupuk cair organic, dimana nilai NPK pada setiap ukuran cangkang telur memiliki selisih yang sedikit. Gambar 4, 5 dan 6 menunjukkan bahwa kandungan unsur hara dalam pupuk cair sangat dipengaruhi oleh penggunaan dosis EM4.

Konsentrasi EM4 Optimum Untuk Menghasilkan Produk Terbaik

Mikroorganisme dalam EM4, seperti bakteri asam laktat dan bakteri fotosintetik, aktif dalam menguraikan bahan organik menjadi komponen yang lebih sederhana, sehingga mempercepat proses dekomposisi cangkang telur menjadi pupuk cair [15]. Hubungan konsentrasi EM4 dengan kandungan unsur hara POC dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 7 Hubungan Konsentrasi EM4 dengan Kandungan Unsur Hara Pupuk Organik Cair

Gambar 7 menyajikan hubungan antara konsentrasi EM4 dengan kandungan unsur hara dalam pupuk organik cair. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai NPK sampel yang menggunakan cangkang telur dan EM4 sudah lebih besar daripada sampel yang hanya menggunakan salah satunya. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan EM4 sebagai inokulan dapat meningkatkan kandungan NPK didalam produk pupuk cair, karena EM4 dapat mempercepat proses dekomposisi bahan organik yang mengandung NPK, sehingga NPK tersebut menjadi lebih mudah dimanfaatkan oleh tanaman.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi EM4 optimal adalah 40%, dengan kandungan NPK tertinggi: Nitrogen $0,21\%$, Fosfor $0,16\%$, dan Kalium $0,197\%$. Menurut SNI 19-7030-2004, kandungan Fosfor dan Kalium pada konsentrasi ini sudah sesuai standar, namun kandungan Nitrogen $0,21\%$ masih di bawah standar yang ditetapkan. Rendahnya kandungan Nitrogen menunjukkan bahwa pupuk cair ini mungkin kurang optimal untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman, terutama dalam pembentukan protein dan klorofil yang memerlukan Nitrogen dalam jumlah cukup. Penelitian Meriatna et.al. menunjukkan bahwa pupuk organik cair dengan penambahan limbah buah-buahan dapat meningkatkan kandungan Nitrogen hingga $13,4\%$, jauh lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian ini. Selain itu, jurnal tersebut juga mengindikasikan bahwa proses fermentasi yang lebih lama (13 hari) dapat meningkatkan efisiensi penyerapan nitrogen [9]. Untuk mencapai kandungan Nitrogen yang sesuai standar, diperlukan penambahan bahan baku yang kaya Nitrogen, penyesuaian proses produksi, serta optimasi kondisi fermentasi. Oleh karena itu, penelitian lanjutan yang lebih mendalam sangat diperlukan guna mencapai kualitas pupuk cair yang lebih baik dan sesuai dengan standar.

KESIMPULAN

Pupuk cair organik dari cangkang telur ayam memiliki kandungan nitrogen tertinggi sebesar 0,25% pada sampel ukuran 150 mesh dengan konsentrasi EM4 40%. Kandungan nitrogen tertinggi tidak sesuai dengan standar SNI (>4%). Kandungan fosfor tertinggi pada penelitian ini sudah sesuai dengan standar SNI. Kandungan fosfor tertinggi sebesar 0,18% pada sampel ukuran 120 mesh dengan konsentrasi EM4 40%. Kemudian disusul oleh nilai fosfor 0,17 pada sampel ukuran 150 mesh dengan konsentrasi EM4 40%. Kandungan kalium tertinggi pada penelitian ini sudah sesuai dengan standar SNI. Kandungan kalium tertinggi sebesar 0,22% pada sampel ukuran 100 mesh dengan konsentrasi EM4 40%. Konsentrasi EM4 optimal adalah 40%, dengan kandungan NPK tertinggi: Nitrogen 0,21%, Fosfor 0,16%, dan Kalium 0,197%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih terutama ditujukan kepada pemberi dana penelitian atau donatur. Ucapan terima kasih dapat juga disampaikan kepada pihak-pihak yang membantu pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Rahmadina and E. P. S. Tambunan, "Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur, Kulit Bawang Dan Daun Kering Melalui Proses Sains Dan Teknologi Sebagai Alternatif Penghasil Produk Yang Ramah Lingkungan," *KLOROFIL: Jurnal Ilmu Biologi Dan Terapan*, vol. 1, no. 1, p. 48, 2017, doi: 10.30821/kfl:jibt.v1i1.1575.
- [2] B. W. R. I. H. P. Har and R. Ratnawati, "Pembuatan Pupuk Organik Cair dari Limbah Buah dengan Penambahan Bioaktivator em4," *Jurnal Sains Dan Teknologi Lingkungan*, vol. 11, no. 261, pp. 44–56, 2019.
- [3] S. Hasibuan et al., "Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur sebagai Pupuk Organik Cair di Kecamatan Rumbai Bukit," *PRIMA: Journal of Community Empowering and Services*, vol. 5, no. 2, p. 154, 2021, doi: 10.20961/prima.v5i2.54635.
- [4] L. A. Andresta and A. Momon, "Pemanfaatan Pupuk Organik dari Limbah Cangkang Telur untuk Tanaman Pakcoy dengan Menggunakan Sekam Bakar," *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, vol. 8, no. 3, pp. 178–183, 2022, doi: 10.5281/zenodo.6626379.
- [5] D. Darmawati, "Efektivitas Berbagai Bioaktivator Terhadap Pembentukan Kompos Dari Limbah Sayur Dan Daun," *Dinamika Pertanian*, vol. 30, no. 2, pp. 93–100, 2017, doi: 10.25299/dp.2015.vol30(2).801.
- [6] N. D. Siswati, H. Theodorus, and E. S. P. W. Eko, "Pengaruh Penambahan Effective Microorganisms pada Limbah Cair Industri Kertas," *Buana Sains*, vol. 9, no. 1, pp. 63–68, 2009. [Online]. Available: <https://jurnal.unitri.ac.id/index.php/buanasains/article/viewFile/225/226>
- [7] H. Maulidina, "STUDI PROSES PENGOLAHAN CANGKANG TELUR AYAM MENJADI PUPUK CAIR ORGANIK DENGAN MENGGUNAKAN EM4 SEBAGAI INOKULAN," *Sains Dan Biologi*, vol. 2, pp. 1–13, 2019..
- [8] E. Kurniawan, Z. Ginting, and P. Nurjannah, "Pemanfaatan Urine Kambing Pada Pembuatan Pupuk Organik Cair Terhadap Kualitas Unsur Hara Makro (npk)," *Jurnal UMJ*, vol. 1, no. 2, pp. 1–10, 2017.
- [9] M. Meriatna, S. Suryati, and A. Fahri, "Pengaruh Waktu Fermentasi dan Volume Bio Aktivator EM4 (Effective Microorganisme) pada Pembuatan Pupuk Organik Cair (POC) dari Limbah Buah-Buahan," *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, vol. 7, no. 1, p. 13, 2019, doi: 10.29103/jtku.v7i1.1172.
- [10] U. Hasanah, "Pemanfaatan Limbah Organik Menjadi Pupuk Kompos Menggunakan Metode Takakura dan Pengaruh Terhadap Pertumbuhan Tanaman Pakcoy (Brassica Rapa L.)," p. 44, 2023.
- [11] E. S. Siboro, E. Surya, and N. Herlina, "Pembuatan Pupuk Cair Dan Biogas Dari Campuran Limbah Sayuran," *Jurnal Teknik Kimia USU*, vol. 2, no. 3, pp. 40–43, 2013, doi: 10.32734/jtk.v2i3.1448.
- [12] R. S. Utami, E. Fransisko, and C. Handika, "Aplikasi Pupuk Organik Cair Urine Kambing Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Mentimun," *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Tanaman*, vol. 1, no. 2, pp. 78–89, 2022. [Online]. Available: <http://prin.or.id/index.php/JURRIT/article/view/655>
- [13] S. Sajar, "Pengaruh Variasi Dosis Pupuk Organik Cair Limbah Air Tahu dan Kulit Telur Ayam terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kedelai (Glycine max L.)," *AGRIUM: Jurnal Ilmu Pertanian*, vol. 26, no. 1, pp. 57–67, 2023, doi: 10.30596/agrium.v26i1.13447.
- [14] S. Rahim Taha, M. Mukhtar, and D. S. Zainuddin, "Pemanfaatan Cangkang Telur Sebagai Pupuk Organik

- Didesa Ombulodata, Gorontalo Utara,” *Jambura Journal of Husbandry and Agriculture Community Serve (JJHCS)*, vol. 1, no. 2, 2022. [Online]. Available: <https://ejurnal.ung.ac.id/index.php/jjhcs/indexD>.
- Shallcross, “Process Equipment Design,” *Chemical Engineering Explained: Basic Concepts for Novices*. pp. 324–346, 2023. doi: 10.1039/bk9781782628613-00324.
- [15] U. L. Dewi, H. Hernawati, and N. Fuadi, “Variasi Suhu Pengeringan Cangkang Telur Ayam pada Pembuatan Pupuk Organik,” *Teknosains: Media Informasi Sains Dan Teknologi*, vol. 15, no. 3, p. 348, 2021, doi: 10.24252/teknosains.v15i3.23387.