



Simulasi CFD Pengeringan Maggot dengan Microwave Oven Berbasis Software Comsol Multiphysics

Wahid Nur Huda *, Arif Rahman Saleh, Sigit Mujiarto

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Tidar, Jl. Kapten Suparman No.39, Potrobangsari,
Kec. Magelang Utara, Kota Magelang, Jawa Tengah 56116 Indonesia

*Penulis Korespondensi: wahidnurhuda690@gmail.com

Abstract. *Black Soldier Fly (BSF) larvae, or maggots, are a type of insect currently widely cultivated, primarily for animal feed. This is because BSF larvae contain essential nutrients such as fat and protein in high amounts, thus improving the nutritional quality of livestock that consume them. Therefore, the processing and preservation of maggots is crucial to maintain their nutritional content and extend their shelf life. One method used in maggot processing is drying. Drying aims to reduce the water content in the larvae, thereby preventing the growth of microorganisms that cause spoilage. One widely applied technique is drying using a microwave oven. However, before the actual process is carried out, simulations are often required to determine the distribution of heat and humidity. Simulation is one of the most effective ways to predict the drying performance of biological materials. This study used a simulation using the Computational Fluid Dynamics (CFD) method operated by Comsol Multiphysics 6.2 software. The parameters used in the simulation were an initial maggot temperature of 80°C, a drying time of 15 minutes, and a heat source of 1300 W/m³. Based on the simulation results, the final water content of the maggots was below 10%. Furthermore, the final relative humidity of the maggots ranged from 10–35%, while the final temperature of the larvae increased to 93–97°C. These results indicate that microwave drying can effectively reduce moisture content while maintaining the nutritional quality of BSF larvae. These simulation results can be used as a basis for practical maggot drying processes, thus supporting the production of efficient and nutritious animal feed.*

Keywords: *Animal Feed; Computational Fluid Dynamics; Final Water Content; Maggots; Microwave Drying.*

Abstrak. Larva Black Soldier Fly (BSF) atau maggot merupakan salah satu jenis insekta yang saat ini banyak dibudidayakan, terutama untuk kebutuhan pakan ternak. Hal ini disebabkan karena larva BSF mengandung nutrisi penting seperti lemak dan protein dalam jumlah yang cukup tinggi, sehingga mampu meningkatkan kualitas gizi bagi hewan ternak yang mengonsumsinya. Oleh karena itu, proses pengolahan dan pengawetan maggot sangat penting agar kandungan nutrisinya tetap terjaga dan memiliki daya simpan yang lebih lama. Salah satu metode yang digunakan dalam pengolahan maggot adalah pengeringan. Pengeringan bertujuan untuk menurunkan kadar air dalam larva sehingga mencegah pertumbuhan mikroorganisme penyebab kerusakan. Salah satu teknik yang banyak diterapkan adalah pengeringan menggunakan microwave oven. Namun sebelum proses nyata dilakukan, seringkali diperlukan simulasi untuk mengetahui distribusi panas dan kelembapan. *Simulation is one of the most effective ways to predict the drying performance of biological materials.* Dalam penelitian ini digunakan simulasi dengan metode *Computational Fluid Dynamic (CFD)* yang dioperasikan melalui software Comsol Multiphysics 6.2. Parameter yang digunakan dalam simulasi adalah suhu awal maggot sebesar 80°C, lama pengeringan 15 menit, dengan sumber panas (*heat source*) 1300 W/m³. Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh kandungan air akhir maggot berada di bawah 10%. Selain itu, kelembapan relatif akhir maggot berkisar antara 10–35%, sedangkan suhu akhir larva meningkat hingga berada pada kisaran 93–97°C. *These results indicate that microwave drying can effectively reduce moisture content while maintaining the nutritional quality of BSF larvae.* Hasil simulasi ini dapat dijadikan dasar dalam proses pengeringan maggot secara praktis, sehingga mampu mendukung produksi pakan ternak yang efisien dan bernilai gizi tinggi.

Kata Kunci: Computational Fluid Dynamic; Kandungan Air Akhir; Maggot; Microwave Drying; Pakan Ternak.

1. LATAR BELAKANG

Penggunaan larva Black Soldier Fly (BSF) sebagai alternatif pakan ternak menawarkan potensi keuntungan yang signifikan. Proses budidayanya relatif sederhana serta memiliki laju pertumbuhan yang pesat, sehingga berkontribusi positif dalam menekan ketergantungan peternak terhadap pakan komersial. Tepung larva BSF diketahui memiliki kandungan protein

yang melimpah, termasuk berbagai asam amino esensial, serta kadar lemak dan kalsium yang tinggi seluruhnya merupakan komponen penting dalam pakan unggas sebagai sumber protein hewani sehingga budidaya maggot sekarang sudah banyak dilakukan (Wardhana, 2016).

Pengeringan maggot menggunakan *microwave* merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk budidaya maggot kering. Penggunaan energi dari radiasi *microwave* pada proses sintesis dan reaksi kimia saat ini sudah banyak dipelajari dan diaplikasikan. Pemanasan *microwave* diketahui lebih efisien untuk berbagai proses pemanasan sehingga membuat proses sintesis menjadi lebih hemat energi dibandingkan dengan proses pemanasan secara konvensional. Tidak hanya mengurangi konsumsi energi, pemanasan dengan menggunakan energi *microwave* juga bisa mengurangi lamanya proses sintesis dan menghasilkan material dengan struktur yang lebih seragam. *Microwave* atau gelombang mikro merupakan bagian gelombang elektromagnet yang memiliki panjang gelombang 1mm–1m dan memiliki frekuensi 300 MHz –300 GHz. Gelombang dengan panjang seperti ini dapat menembus langsung ke dalam material dan akan membuat molekul saling bergesekan sehingga menimbulkan panas (Syah, 2021).

Secara pengertian, CFD merupakan suatu ranah keilmuan yang mendiskusikan mengenai penentuan solusi terhadap suatu aliran fluida dengan menggunakan komputer. CFD dapat memudahkan seseorang untuk menganalisis suatu aliran dengan memanfaatkan teknologi komputer, sehingga dapat mengurangi kompleksitas dalam hal analisis. Hasil dari CFD juga dapat dibandingkan dengan hasil eksperimen untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih akurat. Hasil analisis dalam CFD dapat berupa sifat-sifat yang terdapat dalam suatu aliran fluida, seperti drag, lift, profil tekanan pada aliran memungkinkan konversi model tradisional yang menggambarkan bentuk fisika tunggal menjadi model multifisika yang memiliki kemampuan untuk menyelesaikan fenomena fisik yang saling terkait. Software yang digunakan untuk melakukan simulasi CFD yaitu menggunakan software Comsol Multiphysics 6.2 (Viry, 2022).

Pada penelitian kali ini digunakan jenis studi perpindahan panas dan *moisture transport* yang digunakan untuk mengetahui kandungan air terakhir pada BSF setelah dikeringkan sehingga nantinya parameter apa saja yang dapat mempengaruhi hasil *moisture content* pada larva BSF tersebut, agar nantinya menghasilkan produk BSF yang diinginkan serta berkualitas yang nantinya mampu dimanfaatkan untuk macam-macam seperti bahan pakan bahkan dapat dibuat menjadi bahan baku tepung. Umumnya *moisture content* maggot kering di bawah 10% untuk kualitas yang bagus sehingga nutrisi masih terjaga dan daya simpannya dapat bertahan lama. Studi mengenai isoterma adsorpsi–desorpsi, kinetika pengeringan, dan nilai gizi BSF

yang dikeringkan menunjukkan pentingnya memahami mekanisme perpindahan air selama pengeringan demi menjaga kualitas akhir produk (Lehmad et al., 2024). Selain itu, menunjukkan bahwa kandungan air di bawah 5 % dapat menekan pertumbuhan mikroba dan meningkatkan umur simpan (Saucier et al., 2022). Berbagai metode pengeringan seperti pengeringan udara panas, gelombang mikro, dan pembekuan (freeze-drying) berhasil mencapai kadar air pada kisaran 94,6–96,8 % dalam bentuk kering (Agriculture, 2024). Faktor-faktor pada tahap budidaya seperti kelembapan substrat dan kerapatan larva juga turut memengaruhi hasil akhir dari pengeringan dan kualitas larva (Dzepe et al., 2019). Metode pengeringan seperti konveksi dan infrared-konveksi tak hanya memengaruhi sifat fisik dan fungsi tepung BSF tetapi juga memengaruhi kinetika adsorpsi-desorpsi air (Ronja, 2025).

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian kali ini menggunakan metode simulasi berbasis *Computational Fluid Dynamic* dalam proses pengeringan maggot untuk mengetahui *moisture content* setelah pengeringan dengan beberapa parameter yang digunakan seperti temperatur, waktu pengeringan, dan *heat source*.

A. Tahapan Penelitian

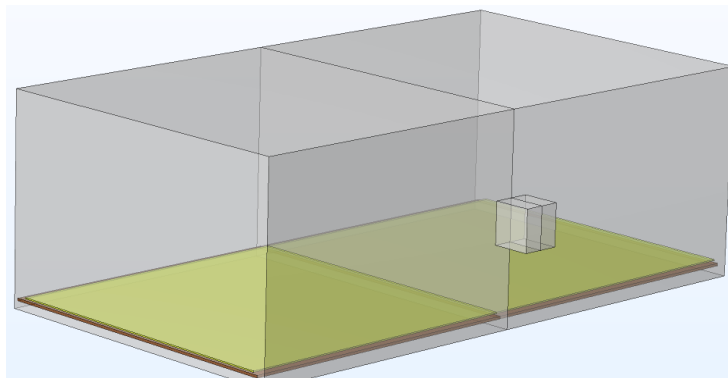
Parameter yang digunakan simulasi kali ini memengaruhi dalam proses pengeringan maggot dan hasil yang nantinya disimulasikan.

Tabel 1. Geometri *Microwave Oven*.

Keterangan	Nilai
Panjang <i>microwave</i>	0,4 m
Lebar <i>microwave</i>	0,44 m
Tinggi <i>microwave</i>	0,25 m
Panjang magnetron	0,025 m
Lebar magnetron	0,05 m
Tinggi magnetron	0,05 m
Panjang konveyor	0,4 m
Lebar konveyor	0,422 m
Tinggi konveyor	0,003 m
Panjang maggot	0,4 m
Lebar maggot	0,402 m
Tinggi maggot	0,0015 m

Geometri *microwave oven* mencakup beberapa komponen yang juga mendukung seperti magnetron, konveyor, dan maggot sebagai objek pengeringan. Geometri maggot

diasumsikan memenuhi konveyor sehingga pemanasan yang dihasilkan akan merata ke seluruh maggot tanpa ada yang terlewat. Daya yang digunakan untuk *microwave* sebesar 8000 Watt, dengan magnetron yang digunakan hanya satu. Frekuensi *microwave* sebesar 2,45 GHz sama dengan frekuensi yang digunakan *microwave oven* pada umumnya. Proses simulasi dimulai dengan desain geometri, kemudian memilih menu *physics* yang berhubungan dengan pengeringan maggot yaitu, *moisture transport*, *heat transfer*, dan *laminar flow*. Langkah berikutnya yaitu *meshing*, tahap berikutnya memilih studi hasil apa yang diinginkan, langkah terakhir yaitu mensimulasikan pengeringan maggot.



Gambar 1. Desain *Microwave Oven*.

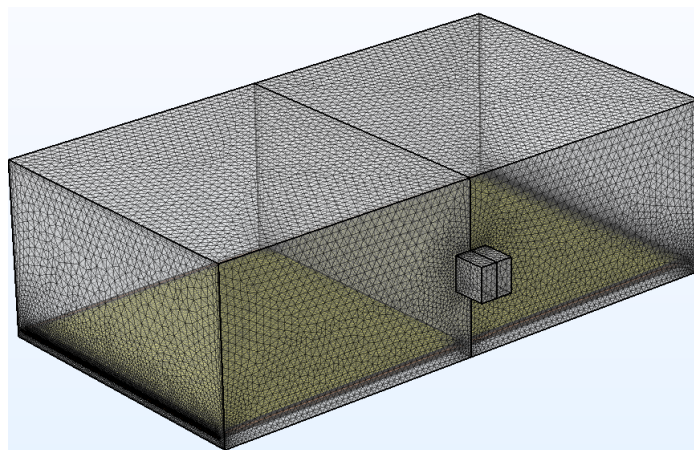
Desain *microwave oven* seperti yang ditunjukkan gambar 1 menunjukkan warna kuning sebagai maggot, sedangkan bagian yang berwarna coklat merupakan konveyor. Maggot memiliki parameter atau kandungan tersendiri dalam tubuhnya yang didefinisikan sebagai materia kosong yang berisi kandungan dalam tabel 2 berikut,

Tabel 2. Parameter Maggot.

Parameter	Nilai
Densitas	1100 kg/m ³
Permeabilitas	10 ⁻¹⁴ m ²
Kandungan air awal	80%
Koefisien difusi	1,9.10 ⁻¹⁰ m/s ²
Konduktivitas termal	0,3 W/mK
Kapasitas Panas	1500 J/kgK

Semua parameter di input dalam parameter yang akan digunakan dalam simulasi agar sesuai dengan keadaan sebenarnya dan berpengaruh pada nantinya kandungan air akhir maggot setelah dikeringkan, setelah semua parameter di input sesuai dengan bagiannya akan dilakukan proses *meshing*. Untuk *meshing* sendiri pada comsol menggunakan kualitas *fine* atau bisa dibilang halus sehingga nantinya memudahkan membagi geometri setiap *domain* menjadi lebih kompleks. Fungsi *meshing* pada CFD juga memudahkan dalam perhitungan persamaan

diferensial agar hasilnya juga akurat dengan parameter awal yang di input menjadikan efisiensi dalam simulasi lebih tinggi.



Gambar 2. Hasil *Meshing*.

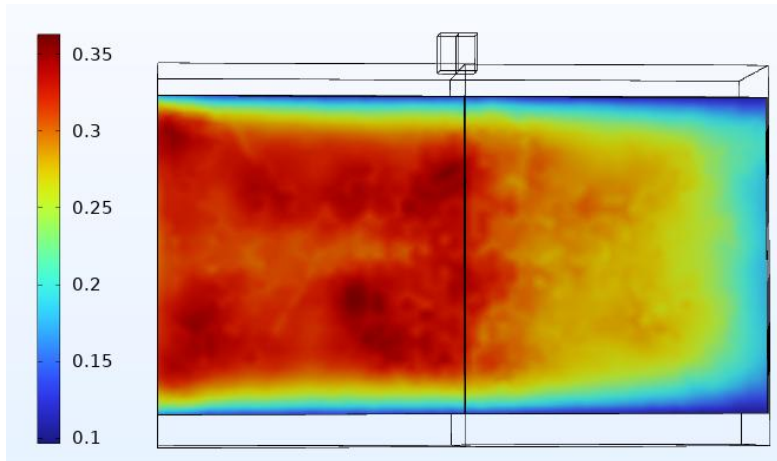
Berdasarkan hasil *meshing* pada gambar 2 jumlah volume keseluruhan 0,08812 m³, dengan rasio volume sebesar 3,24.10⁻⁵ m³. *Minimum* elemen yang dihasilkan 0,082 m kemudian untuk kualitas elemen maksimal yang dihasilkan 11,912 m. Menghasilkan kualitas elemen rata-rata sebesar 0,643 m dengan jumlah seluruh elemen sebanyak 1.054.711. Proses *meshing* selesai kemudian dilanjutkan proses simulasi untuk mengetahui hasil akhir berupa *moisture content*, *relative humidity*, dan temperatur maggot setelah dikeringkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

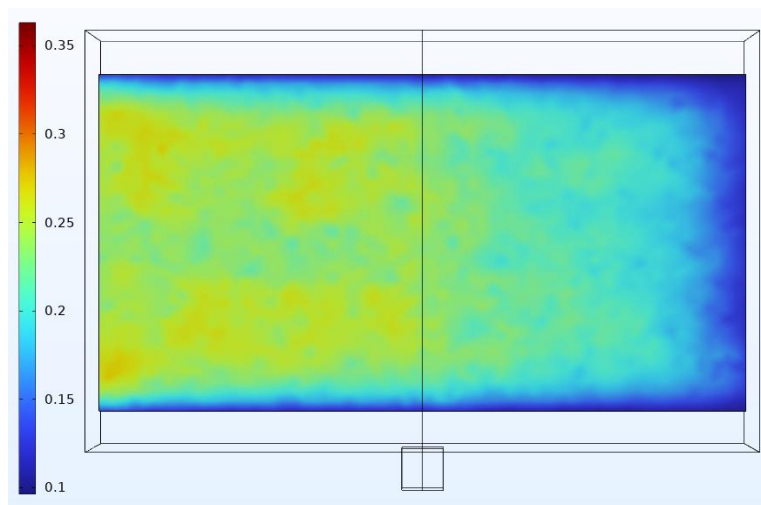
Hasil simulasi yang dilakukan selama 15 menit menghasilkan kelembapan relatif, *moisture content*, dan temperatur akhir maggot setelah dikeringkan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic*.

A. Kelembapan Relatif

Proses pengeringan maggot juga memiliki kelembapan relatif yang berbeda dimana pada saat proses pengeringan menggunakan *microwave* mempengaruhi laju pengupuan air serta kandungan nutrisi dalam maggot itu sendiri. *Microwave* memungkinkan pemanasan yang merata namun dalam penyesuaian temperatur dan kelembapan harus akurat. Kelembapan relatif larva BSF saat pengeringan menggunakan *microwave* berkisar 15-50%, dimana pada angka 15% mampu mempercepat proses pengeringan, sedangkan untuk kelembapan relatif di angka 50% memberikan keseimbangan waktu pengeringan, warna, dan aroma pada larva maggot itu sendiri (Xu et al. 2021).



Gambar 3. Kelembapan Relatif Sisi Bawah.

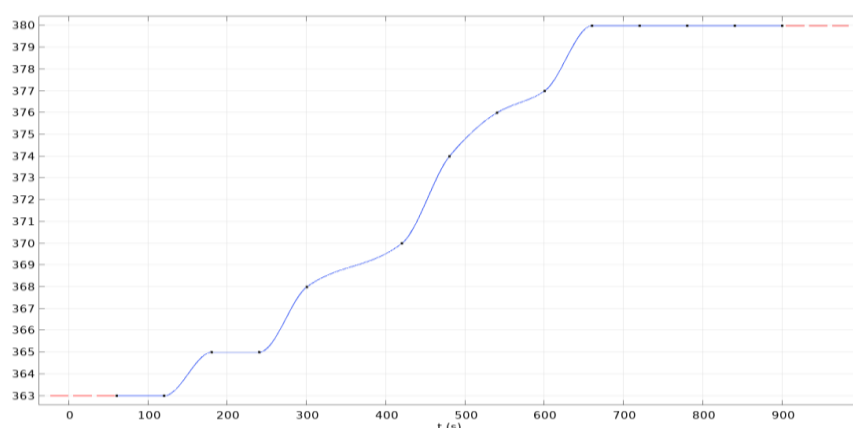


Gambar 4. Kelembapan Relatif Sisi Atas.

Pada bagian bawah maggot memiliki kelembapan relatif lebih tinggi sebesar 35% dibandingkan dengan bagian atas yang hanya mencapai angka tertinggi sebesar 25%-30%, dikarenakan panas yang dihasilkan *microwave* diserap oleh konveyor. Sifat panas konduksi dari konveyor dimana bagian bawah maggot yang terkena panas terlebih dahulu.

B. Temperatur maggot

Temperatur maggot setelah proses pengeringan akan meningkat seiring dengan waktu pengeringan dan daya yang digunakan *microwave*. Pengeringan yang optimal harus memperhatikan juga efisiensi pengeringan serta menentukan parameter yang sesuai dengan kondisi kadar air maggot sebelum dikeringkan dan jumlah maggot yang akan dikeringkan. Temperatur *microwave* mempengaruhi proses pengeringan larva BSF untuk mempercepat laju pengeringan dan menurunkan konsumsi energi yang dibutuhkan pada proses pengeringan (Roy et al. 2020).



Gambar 5. Temperatur Maggot.

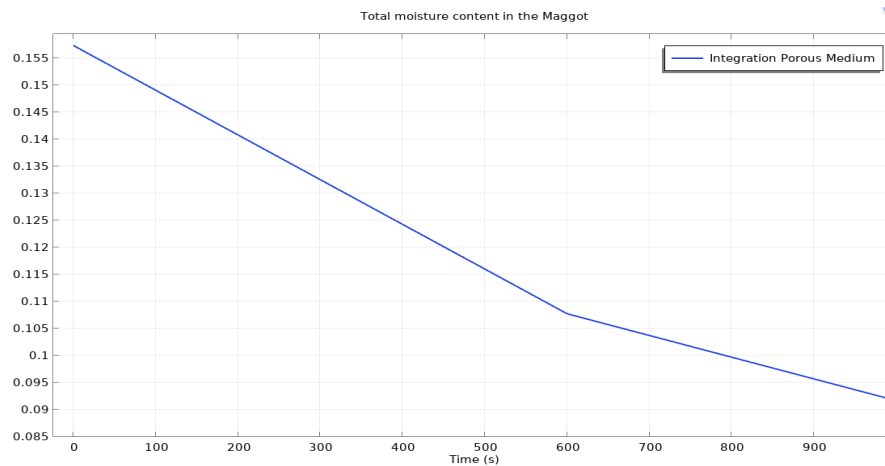
Berdasarkan gambar 5 menunjukkan kenaikan temperatur maggot dimana pada 3 menit awal temperature meningkat mencapai 92°C dan setelah 10 menit hingga selesai pengeringan temperatur maggot tertinggi pada angka 97°C. Berikut merupakan data lebih lengkap tiap menit yang dirangkum dalam tabel 4.

Tabel 4. Temperatur Maggot.

Waktu (s)	Temperatur Maggot (°K)
60	363
120	363
180	365
240	365
300	368
420	370
480	374
540	376
600	377
660	380
720	380
780	380
840	380
900	380

C. Moisture Content

Moisture content sangat berpengaruh pada kualitas, daya simpan, dan kandungan nutrisi pada maggot. Kandungan air umumnya berkisar antara 5% sampai 10%. Kandungan akhir maggot setelah pengeringan mempengaruhi kandungan protein dan lemak. Metode pengeringan yang digunakan juga berpengaruh pada kadar air maggot. Pengeringan maggot kali ini menggunakan *microwave oven* sebagai media pengering (Lestari et al. 2020)



Gambar 6. Moisture Content.

Metode pengeringan menggunakan *microwave* memiliki keuntungan efisiensi waktu menghasilkan produk yang dengan kadar air yang rendah, tetapi daya dan waktu pengeringan harus disesuaikan dengan target kadar air yang ingin dicapai tanpa merusak kualitas struktur maggot. Simulasi kali ini menggunakan *microwave* dengan parameter daya sebesar 8000 Watt. Waktu pengeringan selama 15 menit dengan temperatur awal 80°C. Sumber panas yang digunakan sesuai dengan simulasi sebelumnya pada angka 1300 W/m². Tujuan utama dari penelitian kali ini mampu mendapat kadar air maggot seteah pengeringan dengan persentase dibawah 10%. Berikut data dalam tabel 5 yang menjelaskan penurunan kadar air setiap menit.

Tabel 5. Penurunan Kadar Air Setiap Menit.

Waktu (s)	Moisture Content (%)
60	15,58
120	15,16
180	14,81
240	14,32
300	13,76
360	13,25
420	12,93
480	12,26
560	11,83
600	11,23
660	10,77
720	10,53
780	9,98
840	9,73
900	9,53

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pada hasil simulasi dan data yang sudah dijelaskan, pengaruh lama pengeringan selama 15 menit dengan *heat source* yang dihasilkan *microwave* mempengaruhi kenaikan temperatur maggot yang awalnya 80°C meningkat hingga 97°C. Kelembapan relatif yang dihasilkan juga dipengaruhi perpindahan panas yang membuat bagian bawah maggot lebih memiliki kelembapan relatif lebih tinggi mencapai 35%. Kandungan air akhir maggot yang menurun seiring dengan waktu pengeringan menurun stabil, hingga mencapai kandungan air akhir maggot sebesar 9,53%. Hal tersebut juga tidak lepas dari pengaruh pengeringan menggunakan *microwave* dengan adanya gelombang mikro yang mampu menyalurkan panas secara merata, walaupun tidak sempurna tetapi setidaknya maggot yang dikeringkan mengalami perubahan temperatur dan kandungan air setelah dikeringkan. Untuk saran yang diharapkan yaitu simulasi dengan jumlah maggot yang signifikan dan jumlah blok *microwave* yang ditingkatkan sehingga mampu mempercepat pengeringan dalam jumlah yang banyak, serta menambahkan ruang pendinginan agar nantinya temperatur maggot setelah pengeringan menjadi lebih stabil.

DAFTAR REFERENSI

- Agriculture. (2024). Drying methods for Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) larvae as a feed ingredient: Effects on nutrient digestibility. *Agriculture*, 14(10), Article 1792. <https://doi.org/10.3390/agriculture14101792>
- Brodie, G. N. D. (2022). The influence of load geometry on temperature distribution during microwave heating. [Nama jurnal/prosiding belum tercantum].
- Dzepe, D., Nana, P., Fotso Kuate, A., Tchuinkam, T., & Djouaka, R. F. (2019). Influence of larval density, substrate moisture content and feedstock ratio on life history traits of black soldier fly larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*, 5(4), 271–281. <https://doi.org/10.3920/JIFF2019.0034>
- Fenita, Y. (2021). Pengaruh media tumbuh yang berbeda terhadap kandungan air, protein dan lemak maggot Black Soldier Fly. *Buletin Peternakan Tropis*.
- Fransson, J. H. M. (2020). On the effect of free-stream turbulence on boundary-layer transition. *Journal of Fluid Mechanics*. <https://doi.org/10.1017/jfm.2020.444>
- Lehmad, M., El Hachimi, Y., Lhomme, P., Mghazli, S., & Abdenouri, N. (2024). Comprehensive analysis of adsorption-desorption isotherms, drying kinetics, and nutritional quality of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Food Biophysics*, 19, 938–954. <https://doi.org/10.1007/s11483-024-09867-1>
- Lestari, A., Wahyuni, T. H., Mirwandhono, E., & Ginting, N. (2020). Maggot Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) nutritional content using various culture media. *Jurnal Pertanian Integratif*, 8(3), 161–169. <https://doi.org/10.32734/jpi.v8i3.12534>

- Novita, E., Purbasari, D., Putrianggraini, L., & Purnomo, B. H. (2023). Pengaruh variasi waktu pengukusan dan suhu pengeringan terhadap karakteristik tepung maggot Black Soldier Fly. *Agrointek*, 17(2), 449–457. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v17i2.13084>
- Ronja. (2025). Effect of drying method on selected physical and functional properties of black soldier fly larvae powders. *Applied Sciences*, 15(8), 4097. <https://doi.org/10.3390/app15084097>
- Roy, A., Haque, R. A. I., Mitra, A. J., Choudhury, M. D., Tarafdar, S., & Dutta, T. (2020). Understanding flow features in drying droplets via Euler characteristic surfaces: A topological tool. *Physics of Fluids*, 32(12), 123107. <https://doi.org/10.1063/5.0026807>
- Saif, M., Tariq, M., & Saif, E. M. (2017). Performance analysis of gas turbine. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 1, 270–280. <http://www.iaeme.com/IJMET/index.asp>
- Sari, I. P., Sjojfan, O., & Widodo, E. (2024). Pengaruh metode pengeringan oven dan microwave terhadap kualitas fisik pakan. *Jurnal Nutrisi Ternak Tropis*, 7(1), 34–44. <https://doi.org/10.21776/ub.jnt.2024.007.01.5>
- Saucier, L., et al. (2022). Drying methods of black soldier fly larvae as animal feed [PowerPoint presentation]. [Sumber: ResearchGate].
- Vandeweyer, D., Lachi, D., Gehenia, H., Goovaerts, V., Van Der Zweep, P., Groffils, C., Thijs, M., & Van Der Borgh, M. (2025). Dielectric drying of Black Soldier Fly larvae (*Hermetia illucens*): Impact on microbiological product quality, safety and stability. *Journal of Insects as Food and Feed*, 11(17), 21–31. <https://doi.org/10.1163/23524588-00001218>
- Viry, F., Sturma, M., Namy, P., & Barbet, B. (2022). Optimization of the drying time of industrial solvents: Numerical modelling within COMSOL Multiphysics®. *European Modeling and Simulation Symposium (EMSS)*, 9, 1–8. <https://doi.org/10.46354/i3m.2022.emss.016>
- Vollmer, M. (2003). Special feature: Food physics—Physics of the microwave oven. *Physics Education*, 39(1), 74–81. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/39/1/006>
- Xu, W., Islam, M. N., Cao, X., Tian, J., & Zhu, G. (2021). Effect of relative humidity on drying characteristics of microwave assisted hot air drying and qualities of dried finger citron slices. *LWT*, 20, 110413. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110413>