



Rancangan Optimal Oven Microwave untuk Peningkatan Efisiensi Pengeringan Maggot menggunakan Simulasi CFD

Rian Setiawan^{1*}, Arif Rahman Saleh², Raka Mahendra Sulistiyo³

¹⁻³Universitas Tidar, Indonesia

Alamat: Jl. Kapten Suparman No.39, Potrobangsari, Kec.Magelang Utara, Kota Magelang, Jawa Tengah 56116

*Korespondensi penulis: ryanstwn0409@email.com

Abstract. *Maggots are larvae of the Black Soldier Fly (BSF) which have benefits as waste decomposers and have high potential as feed ingredients. This study aims to analyze the effect of power and time on maggot drying using microwaves. Using the Computational Fluids Dynamics (CFD) method on microwave heating with a power of 2000 watts and 2500 watts, and a residence time of 10 minutes, 20 minutes, and 30 minutes, then the final maggot temperature was tested. The results showed that the final temperature of the maggot tended to increase with increasing power and residence time. This happens because high microwave power provides large energy in a very short time. This energy is efficiently absorbed by maggots through the mechanism of dipole rotation and ionic conduction, causing molecules to vibrate and rub with high intensity. The final temperature of the maggot is between 110°C-125 °C with the highest temperature at a power of 2500 and a drying time of 30 minutes.*

Keywords: *Computational Fluids Dynamics, Maggot, Maggot Drying.*

Abstrak. Maggot merupakan larva dari lalat Black Soldier Fly (BSF) yang memiliki manfaat sebagai pengurai sampah dan memiliki potensi tinggi sebagai bahan pakan. Penelitian ini bertujuan menganalisa pengaruh daya dan waktu pada pengeringan maggot menggunakan *microwave*. Menggunakan metode *Computational Fluids Dynamics* (CFD) pada pemanasan *microwave* dengan daya 2000 watt dan 2500 watt, serta waktu tinggal 10 menit, 20 menit, dan 30 menit, lalu diuji suhu maggot akhirnya. Hasil menunjukkan bahwa suhu akhir maggot cenderung meningkat dengan kenaikan daya dan waktu tinggal. Hal ini terjadi karena daya *microwave* yang tinggi memberikan energi yang besar dalam waktu yang sangat singkat. Energi ini diserap secara efisien oleh maggot melalui mekanisme rotasi dipol dan konduksi ioni, menyebabkan molekul-molekul bergetar dan bergesekan dengan intensitas tinggi. Suhu akhir maggot berada diantara 110°C-125 °C dengan suhu tertinggi berada pada daya 2500 dan waktu pengeringan 30 menit.

Kata Kunci: Computational Fluids Dynamics, Maggot, Pengeringan Maggot.

1. LATAR BELAKANG

Indonesia menduduki peringkat keempat sebagai negara dengan populasi terbesar di dunia, kondisi ini berimbas pada volume sampah yang tinggi. Data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menunjukkan bahwa 60% dari total sampah di Indonesia adalah sampah organik yang bercampur dengan sampah anorganik. Untuk mengurangi sampah organik salah satu inovasi berbasis alam yang sedang dikembangkan adalah penguraian sampah dengan maggot yang berasal dari serangga diptera. Maggot perlu dilakukan pengeringan karena memiliki hasil yang sangat bermanfaat. Pengintegrasian maggot sebagai pakan suplemen dalam akuakultur dapat secara signifikan meningkatkan resistensi ikan terhadap berbagai patogen yang disebabkan oleh infeksi jamur atau mikroba. Ini menunjukkan

potensi maggot tidak hanya sebagai sumber nutrisi tetapi juga sebagai agen profilaksis alami dalam menjaga kesehatan organisme budidaya (Utami et al., 2020).

Oven *microwave* adalah perangkat yang berfungsi untuk memasak atau memanaskan makanan dengan memanfaatkan radiasi gelombang mikro. Pengeringan *microwave* mengandalkan rotasi dipolar molekul air sebuah mekanisme yang tidak ditemukan atau tidak relevan dalam proses pengeringan konvensional (Adolph, 2016). Proses ini terjadi melalui interaksi gelombang mikro yang menghasilkan panas pada molekul terpolarisasi di dalam makanan. Pengeringan *microwave* mengandalkan rotasi dipolar molekul air sebuah mekanisme yang tidak ditemukan atau tidak relevan dalam proses pengeringan konvensional (Adolph, 2016). Penggunaan oven *microwave* dapat memperpendek waktu pengeringan secara drastis karena kemampuannya meningkatkan laju penguapan.

Analisis CFD merupakan salah satu metode untuk mengetahui penyebaran panas di dalam oven *microwave*. Pada *microwave* terdapat gelombang mikro dimana membawa terobosan baru pada aplikasi kimia yang mengubah cara umum pemanasan pada bahan sampel. Teknik pemanasan gelombang mikro memiliki laju pemanasan yang lebih cepat dibandingkan dengan metode pemanasan konvensional (Muhammad et al., 2024). Metode pemanasan konvensional terjadi dari sumber pemanas yang ditransfer secara konduksi ke bejana sampel baik secara konduksi atau konveksi tergantung pada fase material. Gelombang mikro pada *microwave* bekerja sebaliknya dengan memberikan panas langsung pada sampel oleh medan elektromagnetik yang ditransfer ke sekitarnya secara konveksi dan konduksi. Interaksi dipol karena medan elektromagnetik pada bahan dielektrik menyebabkan molekul berputar dan memulai gerakan *intermolekul* yang membuat sampel menghasilkan panas. Reaksi yang dibantu oleh pemanasan gelombang mikro sekitar 4-6 kali lebih cepat (Muhtadin et al., 2020). Gelombang elektromagnetik bisa dianalisis menggunakan CFD. *Software* bekerja mengatasi tantangan yang terkait dengan elektromagnetik dan hidrodinamika yang digabungkan (Vencels et al., 2019). Perangkat lunak ini menggabungkan secara berulang aspek elektromagnetisme frekuensi tinggi, aliran fluida, dan perpindahan panas untuk fluida Newtonian maupun non-Newtonian. Fenomena perubahan fase dimasukkan ke dalam model melalui metode panas spesifik semu. Model tersebut mengonfirmasi bahwa pembangkitan daya bergantung pada sifat dielektrik cairan (Salvi et al., 2011). Pada analisis CFD *microwave* oven hasil numerik pemanasan dipengaruhi berdasarkan ukuran, daya *microwave*, dan lama pemanasan (Sagai et al., 2021). Pemodelan numerik pemanasan gelombang mikro aliran kontinu dalam mencakup penggabungan tiga fenomena fisika elektromagnetisme, aliran fluida, dan perpindahan panas. Banyak penelitian menggunakan yang berfokus pada metode eksperimen dan analitis dengan

metode elemen hingga untuk memecahkan masalah efisiensi penggunaan energi dan pemilihan material pelat yang digunakan dalam proses pemanasan (Istardi & Triwinarko, 2011)

Dengan dilakukan analisis CFD dapat mengetahui aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena-fenomena yang berkaitan pada *microwave oven* sehingga membuat pengeringan maggot dapat merata (Jalaluddin et al., 2020). Pada simulasi menunjukkan hasil kinerja terhadap desain *microwave* yang telah dibuat. Dari analisis tersebut diperoleh manfaat pengembangan oven *microwave* pengering maggot terhadap signifikan dalam desain, optimasi, dan pemahaman kinerja alat.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan cara eksperimental Pada penelitian ini akan menggunakan software CFD dalam permodelan dengan variasi pada beberapa parameter desain reaktor seperti ukuran dari oven *microwave*, daya, dan, durasi pengeringan maggot.

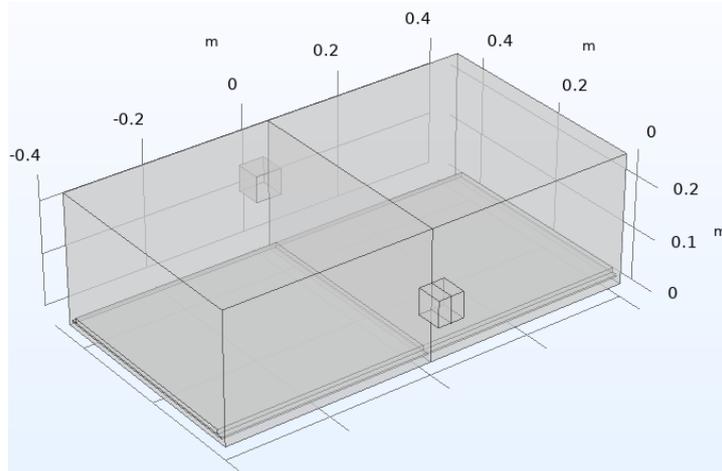
Tahapan Penelitian

Penentuan parameter oven *microwave* dilakukan untuk menentukan hasil pemanasan pada ruang. Ukuran dari tiap desain ditunjukkan pada table 1 berikut ini:

Tabel 1. Parameter Geometri Oven *Microwave*

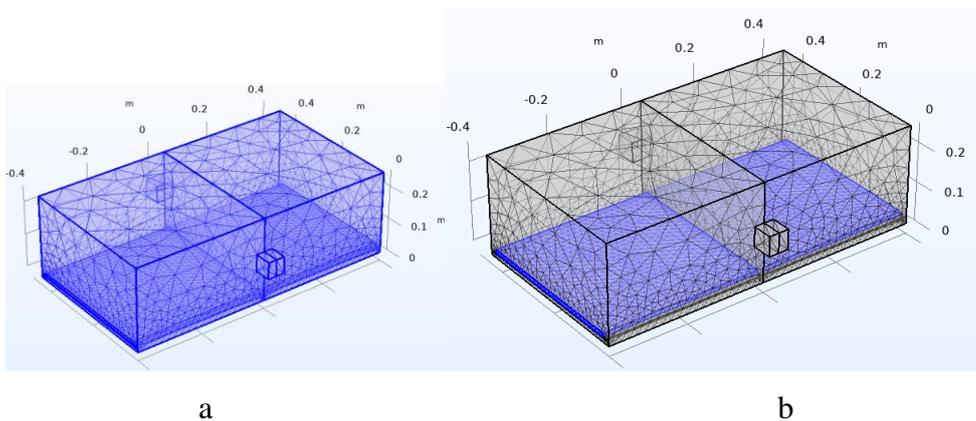
Nama	Nilai
Panjang oven	800 mm
Lebar oven	500 mm
Tinggi oven	250 mm
Panjang magnetron	50 mm
Lebar magnetron	50 mm
Tinggi magnetron	50 mm
Panjang <i>conveyor</i>	400 mm
Lebar <i>conveyor</i>	416 mm
Tinggi <i>conveyor</i>	10 mm
Panjang objek	800 mm
Lebar objek	416 mm
Suhu awal	110 degC
Geometri penuh	1

Desain oven menggunakan parameter yang ada. Digunakan dua magnetron di sisi sebelah samping dengan arah sejajar. Untuk *conveyor* dan maggot diletakkan disebelah bawah untuk memperoleh penyebaran panas yang merata. Bahan yang digunakan pada oven adalah *Stainless Steel 405 Annealed* dan bahan *conveyor* menggunakan Teflon *annealed* at 350 °C, *tested* at 176 °C



Gambar 1. Desain Microwave Oven

Pada proses analisis CFD pertama melakukan pembuatan *mesh* pada oven dengan batas ukuran *maksimum* elemen 59,96 m dan batas ukuran *minimum* elemen 0,0144 m. Pada *maximum element growth rate* 1,5, *curvature factor* 0,6, dan *resolution of narrow regions* 0,5. Selanjutnya pada maggot pembuatan *mesh* ukuran *maksimum* elemen 7,437 m dan batas ukuran *minimum* 0,0144 m. Pada *maximum element growth rate* 1,5, *curvature factor* 0,6, dan *resolution of narrow regions* 0,5



Gambar 2. (a) Mesh Desain Oven (b) Mesh Desain Maggot

Pada penelitian ini menggunakan analisis *Computational Fluids Dynamics* dengan tahapan awal pembuatan model geometri oven *microwave*. Selanjutnya pemilihan bahan *microwave* meliputi bahan oven, maggot, udara, dan *conveyor*. Pembuatan mesh oven dan mesh objek dilakukan setelah bahan ditentukan. Selanjutnya dilakukan pendefinisian kondisi batas dan model fisik dari oven *microwave*. Langkah terakhir adalah *compute* program dan melakukan optimasi desain dari hasil analisis.

Variabel Penelitian yang digunakan pada penelitian ini diantaranya variabel bebas menggunakan daya *microwave* 2.000 dan 2.500 *watt*. Untuk waktu tinggal pengeringan dengan variasi 10, 20, dan 30 menit. Pada variabel terikat arah distribusi medan listrik ke samping dan pada variabel kontrol pada penelitian ini yaitu menggunakan bahan *oven stainless steel*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

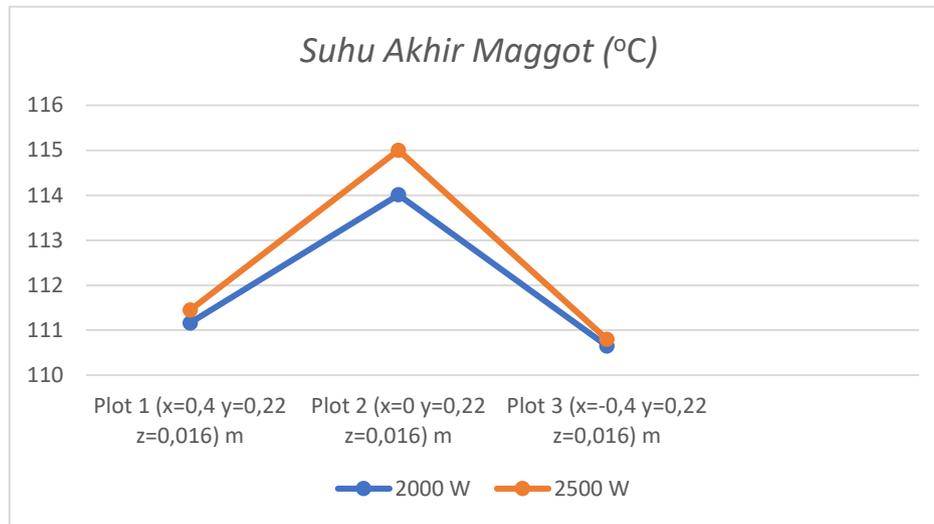
Pengujian simulasi pengeringan maggot pada oven *microwave* dilakukan dua kali *compute* dengan masing-masing daya *input* 2000 dan 2500 W. Tujuan dilakukan *compute* sebanyak dua kali adalah mendapatkan hasil perbedaan dari suhu akhir maggot dengan hasil yang akurat. Hasil penelitian ditunjukkan pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Hasil simulasi pengeringan maggot dalam oven *microwave*

DAYA	WAKTU	Koordinat x=0.4, y=0.22 z=0.0016 (m)	Koordinat x=0, y=0.22, z=0.016 (m)	Koordinat x=-0.4, y=0.22, z=0.016 (m)
2000 W	15 menit	110,58 °C	112,01 °C	110,32 °C
2000 W	20 menit	111,16 °C	114,01 °C	110,65 °C
2000 W	30 menit	112,32 °C	118,07 °C	111,29 °C
2500 W	15 menit	110,72 °C	112,64 °C	110,4 °C
2500 W	20 menit	111,45 °C	115 °C	110,09 °C
2500 W	30 menit	112,9 °C	120,09 °C	111,62 °C

Pembahasan

Pengaruh daya dan pemilihan posisi plot dari pemanasan maggot selama 30 menit ditunjukkan pada gambar 12 berikut ini.



Gambar 3. Suhu Pengeringan maggot dari tiap plot

1) Pengaruh Waktu Pengeringan terhadap Suhu Akhir

Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa suhu akhir maggot akan meningkat seiring bertambahnya waktu pengeringan. Semakin lama waktu pengeringan maggot dalam *microwave* secara langsung akan menyebabkan suhu maggot meningkat. Suhu akhir dalam pengeringan juga dipengaruhi besar medan listrik dari gelombang berdiri yang dihasilkan. Sifat pertivitas dari material akan berpengaruh pada medan listrik dan suhu akhir (Monteiro et al., 2011). Medan listrik merupakan representasi spasial dari gaya listrik per satuan muatan yang akan dialami oleh muatan uji positif yang diletakkan di titik mana pun dalam domain simulasi. Karena medan listrik dan medan magnetnya saling tegak lurus serta bergerak lurus searah perambatan gelombang tersebut diklasifikasikan sebagai gerak transversal (Nuri, 2014). Dalam ekstraksi menggunakan pemanas *microwave* ada satu karakteristik penting dari suatu bahan yang sangat memengaruhi prosesnya yaitu konstanta dielektrik bahan tersebut. Konstanta dielektrik ini berperan besar dalam menentukan bagaimana medan listrik dari *microwave* berinteraksi dengan molekul-molekul di dalam bahan sehingga memengaruhi efisiensi ekstraksi (Kartika et al., 2020).

Fenomena ini terjadi karena gelombang mikro bekerja dengan cara menggetarkan molekul air yang terkandung dalam maggot mengubah energi gelombang menjadi panas. Seiring berjalannya waktu getaran molekul air ini terus

berlangsung sehingga panas yang dihasilkan pun akumulatif. Bahkan setelah sebagian besar air menguap dan kadar air dalam maggot berkurang energi gelombang mikro yang terus dipancarkan akan diserap oleh komponen padat maggot seperti protein dan lemak yang kemudian ikut memanaskan. Jika proses pengeringan ini berlanjut tanpa kontrol suhu yang tepat maggot dapat mengalami *overheating* yang berpotensi menyebabkan kerusakan nutrisi hingga hangus. Oleh karena itu pengaturan durasi pengeringan *microwave* sangat krusial untuk memastikan maggot kering secara optimal tanpa mengorbankan kualitasnya. Distribusi suhu dalam ruang pemanas *microwave* digambarkan menunjukkan bahwa suhu akan menurun seiring dengan jarak dari sumber panas. Jadi, semakin jauh suatu area dari dinding permukaan yang semakin rendah suhunya (Permatasari & Annas, 2015).

2) Pengaruh Daya terhadap Suhu Akhir

Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa daya yang lebih tinggi akan membuat pemanasan suhu akhir pengeringan menjadi besar. Peningkatan daya pengeringan *microwave* yang digunakan untuk maggot akan berdampak langsung pada kenaikan suhu akhir maggot tersebut. Hal ini terjadi karena daya *microwave* menunjukkan seberapa banyak energi gelombang mikro yang dipancarkan per satuan waktu. Penyebaran gelombang mikro memiliki sifat *omnidirectional* yaitu menyebar secara lurus dan membentuk pola melingkar. Saat gelombang mikro mengenai penghalang sisi lurus diharapkan gelombang ini mengalami lenturan dan berinterferensi (Untung, 2014). Semakin tinggi daya semakin intens gelombang mikro yang mengenai maggot yang berarti lebih banyak energi yang diserap dan diubah menjadi panas oleh molekul air dan komponen lainnya di dalam maggot dalam durasi yang sama. Akibatnya proses pemanasan dan penguapan air menjadi lebih cepat dan agresif mendorong suhu maggot meningkat secara signifikan. Penggunaan daya yang terlalu tinggi tanpa kontrol dapat mengakibatkan *overheating* atau bahkan kerusakan termal pada maggot berpotensi mengurangi kualitas nutrisinya atau menyebabkannya hangus. Oleh karena itu penting untuk menyesuaikan daya pengeringan dengan jenis dan jumlah maggot serta tujuan akhir pengeringan guna mencapai hasil optimal tanpa merusak produk.

3) Pengaruh Pemilihan Plot terhadap Suhu akhir

Pada gambar tersebut dapat diketahui bahwa tiap plot yang dipilih akan menyebabkan perbedaan suhu akhir pengeringan maggot. Pola suhu pemanasan maggot dalam *microwave* menunjukkan variasi signifikan antar plot yang dipilih, dengan plot

2 menghasilkan suhu tertinggi, diikuti oleh plot 1 sebagai yang tertinggi kedua, dan plot 3 menunjukkan suhu terendah. Selain plot posisi magnetron juga mempengaruhi suhu pemanasan didalam oven. Pada posisi magnetron sejajar yang dipilih akan membuat pengeringan intens dan hasil yang baik karena jika ketidak seragaman dari pemanasan yang dipengaruhi medan listrik atau medan magnet tidak hanya mempengaruhi keamanan pangan tetapi juga mempengaruhi kualitas makanan tersebut (Permatasari & Annas, 2015). Posisi magnetron yang mempengaruhi kenaikan suhu tegak lurus dengan medan listrik yang ada pada ruang oven. Medan listrik yang mempengaruhi suhu akhir ditentukan oleh bentuk fisik dari alat sehingga memunculkan kemungkinan penyebaran kurang merata (Fisika, 2010). Perbedaan suhu tiap plot kemungkinan besar disebabkan oleh kombinasi faktor seperti daya *microwave* yang digunakan, durasi pemanasan, atau bahkan jumlah serta distribusi maggot di dalam *microwave* untuk masing-masing plot. Plot 2 yang mencapai suhu puncak karena lebih dekat dengan titik keluaran gelombang mikro pada magnetron, plot 3 yang bersuhu terendah bisa jadi menggunakan daya paling rendah karena posisinya yang jauh dari tempat keluaran gelombang mikro pada magnetron. Variasi suhu ini menggarisbawahi pentingnya optimasi parameter pengeringan microwave agar maggot kering secara efisien tanpa mengalami kerusakan akibat panas berlebih, yang dapat memengaruhi kualitas nutrisinya.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Mengacu dari hasil penelitian suhu akhir dipengaruhi oleh waktu karena semakin bertambahnya waktu akan membuat pemanasan menjadi lebih optimal seperti pada hasil akhir menit 30 dibandingkan pada menit 15 ataupun 20. Selain itu pada peningkatan daya yang dimasukkan pada oven *microwave* akan membuat pemanasan di dalam akan menjadi lebih merata baik dari panas yang di keluarkan langsung dari magnetron maupun dari pantulan dari dinding oven. Daya 2500 W yang dikeluarkan mendominasi panas lebih tinggi daripada daya 2000 W. Selanjutnya pada setiap titik maggot yang dikeringkan akan memiliki suhu yang bervariasi. Hal itu tidak terkepas dari pancaran gelombang mikro yang dihasilkan magnetron. Arah penyebaran meluas ke seluruh ruang oven dengan dominasi panas yang tinggi di sekitaran area keluaran gelombang mikro.

Untuk saran yang diharapkan yaitu penambahan magnetron tiap blok *microwave oven* dan pengembangan model lebih kompleks untuk mempertimbangkan fenomena perpindahan panas dan massa yang lebih kompleks

DAFTAR REFERENSI

- Adolph, R. (2016). *No title*. 1–23.
- Fisika, B. (2010). Analisis medan listrik pada plasma. *Jurnal Fisika*, 13(4), 139–144.
- Istardi, D., & Triwinarko, A. (2011). Induction heating process design using COMSOL® Multiphysics software. *TELKOMNIKA (Telecommunication, Computing, Electronics and Control)*, 9(2), 327–334. <https://doi.org/10.12928/telkomnika.v9i2.704>
- Jalaluddin, J., Akmal, S., ZA, N., & Ibrahim, I. (2020). Analisa laju korosi baja karbon ST-37 dalam larutan asam sulfat dengan penambahan inhibitor ekstrak daun tembakau. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 8(2), 53. <https://doi.org/10.29103/jtku.v8i2.2682>
- Kartika, et al. (2020). Perbandingan metode Microwave Hydrodiffusion and Gravity (MHG). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 9(2).
- Monteiro, J., Costa, L. C., Valente, M. A., Santos, T., & Sousa, J. (2011). Simulating the electromagnetic field in microwave ovens. In *SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference Proceedings* (pp. 493–497). <https://doi.org/10.1109/IMOC.2011.6169274>
- Muhammad, M., Nomor, S., & Al, A. (2024). Analisis CFD dampak variabel operasional terhadap pemanasan air berbantuan gelombang mikro. 1–14.
- Muhtadin, A. F., Wanking, P., & Kangsadan, T. (2020). Model CFD produksi biodiesel berbantuan gelombang mikro mode tunggal melalui reaksi transesterifikasi stearin sawit murni menggunakan metode kopling satu arah dalam tangki pengaduk batch reaktor. *Prosiding Seminar Nasional*, November, 21–32.
- Nuri, M. T., & W. (2014). Pengaruh kadar garam dapur terhadap suhu makanan yang dimasak dengan microwave. *Eksergi*, 10(2), 32. <https://doi.org/10.31315/e.v10i2.337>
- Permatasari, R., Annas, M. S., & B. A. (2015). Distribusi temperatur pada microwave menggunakan metode CFD. In *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV)* (Vol. 1, pp. 1–5). <http://eprints.unlam.ac.id/634/1/KE-57.pdf>
- Sagai, F. S., Pandara, D. P., Kolibu, H. S., Tongkukut, S. H. J., Ferdy, F., Tamuntuan, G. H., & Abidjulu, G. (2021). Simulasi optimasi suhu dari sistem pemanasan temperatur tinggi berbasis gelombang mikro. *Jurnal MIPA*, 11(1), 27. <https://doi.org/10.35799/jm.v11i1.36151>
- Salvi, D., Boldor, D., Aita, G. M., & Sabliov, C. M. (2011). COMSOL Multiphysics model for continuous flow microwave heating of liquids. *Journal of Food Engineering*, 104(3), 422–429. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.01.005>
- Untung, G. B. (2014). Eksperimen difraksi Fresnel. *Magister Scientiae*, 1(35), 100–112.
- Utami, I., Putra, I. L. I., Khotimah, K., & Pangestu, R. G. (2020). Maggot black soldier fly sebagai agen degradasi sampah organik dan pakan ternak warga Mergangsan Yogyakarta. *LOGISTA: Jurnal Ilmiah Pengabdian kepada Masyarakat*, 4(2), 127. <https://doi.org/10.25077/logista.4.2.127-135.2020>

Vencels, J., Birjukovs, M., Kataja, J., & Råback, P. (2019). Microwave heating of water in a rectangular waveguide: Validating EOF-library against COMSOL Multiphysics and existing numerical studies. *Case Studies in Thermal Engineering*, 15(July), 100530. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100530>