

Desain dan Pengujian Model Sederhana Pengering Makanan Berbasis Radiasi Gelombang Ultrasonik

Meifal Rusli*, Mulyadi Bur dan Toni Yuhandri

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas,
Kampus Unand Limau Manih, Padang 25163, Indonesia

*Email: meifal@ft.unand.ac.id

Abstrak

Alat pengering yang berkembang saat ini bekerja dengan memanfaatkan perubahan temperatur baik pada udara maupun pada bahan-bahan yang akan dikeringkan, seperti dengan memanfaatkan energi panas atau pengeringan beku. Pengeringan dengan cara ini dapat menyebabkan terjadinya perubahan kualitas bahan makanan dan obat-obatan yang dikeringkan akibat adanya perubahan temperatur yang sangat signifikan. Perubahan kualitas tersebut bisa berupa perubahan warna, rasa, bau, penurunan kandungan vitamin, asam amino dan zat-zat lainnya. Pada penelitian ini didesain sebuah model alat pengering dengan menggunakan radiasi gelombang ultrasonik. Beberapa keunggulan gelombang ultrasonik untuk tujuan ini antara lain ultrasonik memungkinkan mengangkat kandungan air yang terdapat dalam benda padat melalui perubahan tekanan yang sangat cepat tanpa mengubah temperatur. Sistem pengeringan ini didesain dalam skala laboratorium yang terdiri dari beberapa peralatan utama yaitu pembangkit sinyal ultrasonik yang berfungsi membangkitkan getaran pada *bolted langevin transducer* (BLT). Getaran ultrasonik dari BLT diperkuat dengan penguat mekanik (*sonotrode*) dalam bentuk *stepped-horn*. Untuk memperluas jangkauan gelombang ultrasonik, pada ujung *stepped-horn* dipasangkan piringan sebagai radiator ultrasonik. *Stepped-horn* dan piringan radiator ultrasonik didesain untuk dapat bekerja dengan frekuensi pribadi 28 kHz. Sedangkan kapasitas daya dari BLT adalah 50 Watt. Sistem pengeringan ini diuji dengan menggunakan wortel dan apel sebagai sampel. Sampel dipotong-potong dalam bentuk acak dan diletakkan di bawah piringan radiator. Pada pengujian ini daya dan jarak posisi sampel dari piringan radiator ultrasonik divariasikan. Variasi daya yang digunakan adalah 100%, 75%, 50%, 25% dan 0% dari kapasitas daya 50 Watt, sedangkan jarak wadah sampel dengan piringan radiator sebesar 1 dan 1,5 kali panjang gelombang yaitu 12 mm dan 18 mm. Dari pengujian yang dilakukan selama 90 menit didapatkan penurunan fraksi masa maksimum pada wortel sebesar 35% dan pada apel sebesar 22%.

Kata Kunci: Pengering, Ultrasonik, Penguat mekanik, *Bolted Langevin Transducer*, gelombang diam

1. Pendahuluan

Proses pengeringan dewasa ini menjadi proses yang sangat penting dalam banyak industri pengolahan makanan. Dalam proses pengeringan, kebanyakan metode yang digunakan adalah energi panas, baik energi panas matahari maupun produk udara panas yang lainnya yang dialirkan secara langsung atau tidak langsung ke permukaan bahan makanan tersebut. Metode lain adalah pengeringan beku (*freeze dryer*). Akan tetapi proses pengeringan dengan perubahan temperatur yang cukup signifikan memungkinkan terjadinya perubahan pada kualitas bahan makanan, baik perubahan warna, rasa, bau, penurunan kandungan vitamin dan asam amino dalam bahan makanan tersebut (Jayaraman dkk, 1992). Tidak saja dalam kandungan zat makanan, tetapi juga kandungan zat kimia tertentu dalam proses pengeringan bahan-bahan obat-obatan seperti pada gambir (Susanti, 1998).

Oleh karena itu diperlukan metode lain dimana proses pengeringan dilakukan dengan tidak menaikkan temperatur selama proses berlangsung. Salah satu metode yang dapat dikembangkan adalah radiasi gelombang ultrasonik. Beberapa keunggulan gelombang ultrasonik untuk tujuan ini antara lain adalah ultrasonik memungkinkan mengangkat kandungan air yang terdapat dalam benda padat tanpa mengubah fasa cair melalui perubahan tekanan yang sangat cepat (Blanco, 2006). Disamping itu gaya dorong gelombang ini dapat lebih tinggi dibanding tegangan permukaan yang menjaga kadar air tetap berada di kapiler-kapiler zat padat. Selain itu terjadinya proses kavitasi akan sangat menguntungkan mengangkat kadar air yang ada (Terleton, 1998).

Untuk itu perlu dikembangkan suatu model peralatan

yang dapat memanfaatkan kemampuan ultrasonik sebagai alat bantu pengering bahan makanan. Beberapa model pengering ultrasonik telah dikembangkan untuk beberapa keperluan, seperti mesin pengering peralatan makan (*dish dryer*), dan pengering pakaian. *Ultrasonic spray dryer* untuk pengeringan dan pembentukan partikel mikro dari bahan dalam kondisi cair (emulsi, larutan, dsb) (Paiva Luz, dkk; 2007), dan ultrasonik untuk pengering dan perlakuan terhadap biji-bijian (Khmelev, dkk; 2008). Sedangkan pengering makanan dalam bentuk padat dengan menggunakan kombinasi konveksi udara panas dan ultrasonik (Blanco, 2006).

Pada penelitian artikel ini didesain sebuah pengering sederhana dengan menggunakan gelombang ultrasonik. Getaran ultrasonik dari aktuator diperkuat dengan menggunakan penguat mekanik, sehingga diharapkan performansi ultrasonik dalam proses pengeringan bisa lebih baik, dan dapat dikembangkan lebih lanjut dalam skala yang lebih besar.

2. Pengering Dengan Gelombang Ultrasonik

Gelombang suara dapat dikategorikan berdasarkan rentang frekuensinya menjadi infrasonik dengan rentang frekuensi 0-20 Hz, suara audio dalam rentang frekuensi 20 Hz – 20 kHz, dan ultrasonik dengan frekuensi di atas 20 kHz. Disamping itu, spektrum ultrasonik dalam pemanfaatannya dapat pula dibagi menjadi 2 bagian, yaitu ultrasonik daya dengan rentang frekuensi 20 kHz - 1 MHz, dan ultrasonik diagnostik dengan rentang frekuensi di atas 1 MHz.

Ultrasonik telah digunakan dalam banyak aplikasi dari berbagai disiplin ilmu. Hampir semua aplikasi tersebut berdasarkan kepada dua keunggulan khusus gelombang ultrasonik yaitu (cheeke; 2002);

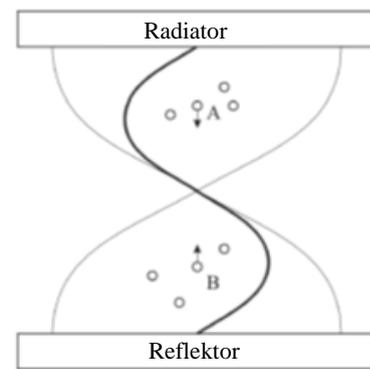
1. Gelombang ultrasonik merambat dengan kecepatan sangat lambat, sekitar 100.000 kali lebih lambat dibandingkan kecepatan gelombang elektromagnetik. Hal ini bisa dimanfaatkan untuk mendapatkan informasi dalam waktu, mengatur variabel *delay* dan sebagainya.
2. Gelombang ultrasonik dapat dengan mudah menembus berbagai jenis material dengan berbagai karakteristiknya, dimana radiasi tipe-tipe gelombang lainnya seperti gelombang cahaya tidak mampu. Disamping itu sumber gelombang ultrasonik sangat sensitif terhadap perubahan materi dan kondisi tempat merambatnya.

Salah satu pemanfaatan gelombang ultrasonik yang cukup besar terdapat di bidang industri pemrosesan makanan dan bioteknologi. Pengaruh dari ultrasonik dalam teknologi di kedua bidang ini setidaknya terdapat pada dua hal yaitu pemanfaatan efek secara

fisika dan efek secara kimia. Salah satu fenomena fisika penerapan ultrasonik ini adalah fenomena pemisahan akustik (*acoustic separation*).

Gaya radiasi akustik

Partikel yang berada di bawah radiasi gelombang ultrasonik mengalami gaya radiasi akustik yang bersifat nonlinear (Townsend, 2006). Partikel yang berada pada suatu medium di bawah pengaruh gelombang ultrasonik tidak mengalami osilasi mengikuti mediumnya, tetapi bergerak karena perbedaan tekanan pada nodal dan non nodal dari gelombang diam (*standing wave*). Fenomena ini diilustrasikan pada gambar 1. Gelombang diam terjadi pada saat gelombang yang dibangkitkan direfleksikan oleh permukaan padat pada jarak kelipatan panjang gelombangnya. Fenomena ini yang dapat dimanfaatkan dalam sistem pengering, dimana air yang berada pada permukaan bahan makanan akan bergerak memisah menuju posisi dimana tekanan udara minimal akibat gelombang ultrasonik.



Gambar 1. Pergerakan partikel akibat perbedaan tekanan pada gelombang diam ultrasonik

Acoustic Streaming

Acoustic streaming digambarkan sebagai gerakan fluida yang disebabkan oleh medan akustik. Gerakan ini disebabkan oleh penyerapan medan akustik dimana energi akustik diserap oleh fluida dalam bentuk momentum. *Acoustic streaming* ini yang banyak didiskusikan sebagai fenomena yang dapat dimanfaatkan dalam sistem pemisah material dengan menggunakan ultrasonik (Townsend, 2006).

Kedua fenomena di atas dapat dimanfaatkan dalam menggerakkan partikel air dalam zat padat untuk keluar dari permukaan dan kapiler-kapilernya, sehingga terangkat ke udara. Partikel air yang sudah terpisah selanjutnya dihisap dan di buang jauh dari permukaan.

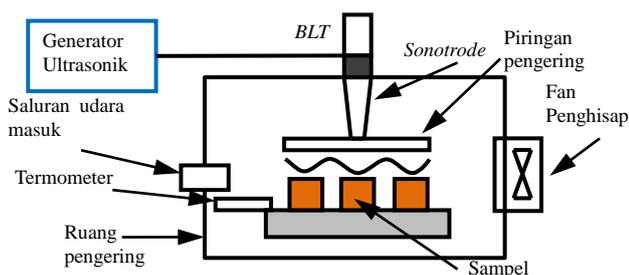
Penguat ultrasonik

Untuk menggerakkan partikel dan udara yang berada dalam medan gelombang ultrasonik, dibutuhkan daya ultrasonik yang cukup besar. Aktuator ultrasonik seperti material piezoelektrik pada *Bolted-Langevin Transducer* (BLT) hanya mampu menghasilkan getaran dengan amplitudo yang sangat rendah. Untuk daya ultrasonik yang besar agar sesuai dengan kebutuhan, diperlukan penguat mekanik yang lebih sering disebut dengan penguat ultrasonik atau *sonotrode*. *Sonotrode* ini dipasang pada ujung aktuator BLT dan didesain mempunyai frekuensi pribadi tepat sama dengan frekuensi pribadi BLT. Perbesaran terjadi pada saat BLT mengeksitasi *sonotrode* pada frekuensi pribadinya, sehingga terjadi resonansi secara bersamaan antara BLT dan penguat.

Untuk itu desain *sonotrode* sangat tergantung kepada kebutuhan dan karakteristik gelombang yang diinginkan. Sehingga bisa bersifat sangat unik dimana penguat mempunyai bentuk dan frekuensi yang berbeda antara satu kebutuhan dengan kebutuhan yang lain (Sherri, dkk; 2002). Salah satu model *sonotrode* yang paling sederhana adalah *stepped-horn* yang digunakan dalam penelitian ini. Selain itu untuk dapat mengeksitasi gelombang ultrasonik pada permukaan yang cukup luas, penguat *stepped-horn* dilengkapi dengan piringan sebagai radiator ultrasonik.

3. Model Dan Pengujian Pengereng Ultrasonik

Perangkat pengujian yang digunakan tersusun atas beberapa komponen utama antara lain ultrasonik generator, BLT, *sonotrode*, dan ruang pengereng. Skema sederhana dari alat ini diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema sederhana alat pengereng memanfaatkan gelombang ultrasonik

Prinsip kerja alat pengereng berbasis gelombang ultrasonik ini adalah sebagai berikut, generator ultrasonik menghasilkan sinyal elektrik dengan frekuensi ultrasonik yang kemudian dihubungkan ke BLT. Sinyal tersebut diubah oleh BLT menjadi energi mekanik dalam bentuk getaran dengan frekuensi ultrasonik. Amplitudo getaran yang dihasilkan oleh BLT akan diperbesar dengan

menggunakan *sonotrode* dan jangkauan getaran ultrasonik yang dihasilkan akan diperluas dengan menggunakan piringan pengereng. Getaran dari piringan mengeksitasi udara sekitarnya menjadi radiasi gelombang ultrasonik. Sampel diletakkan tepat di bawah piringan pengereng dan akan terkena radiasi ketika gelombang ultrasonik digunakan.

Ketika gelombang ultrasonik merambat, maka akan terjadi perubahan tekanan yang sangat cepat pada medium yang dilaluinya. Gelombang ultrasonik yang merambat akan dipantulkan ketika berkontak dengan plat tempat dimana sampel diletakkan dan akan menghasilkan gelombang diam (*standing wave*). Kondisi ini mengakibatkan terjadinya *acoustic streaming*. Dengan gaya dorong yang lebih tinggi dibandingkan dengan tegangan permukaan yang menjaga kadar air tetap berada di kapiler-kapiler zat padat, ultrasonik dapat melepaskan kandungan air dari kapiler-kapiler zat padat. Kavitasi dan *acoustic streaming* adalah proses yang diharapkan dapat membantu mengangkat kandungan air yang terdapat pada sampel. Selanjutnya uap air yang terdapat dalam ruang pengereng akan dipindahkan keluar ruangan menggunakan *fan* penghisap.

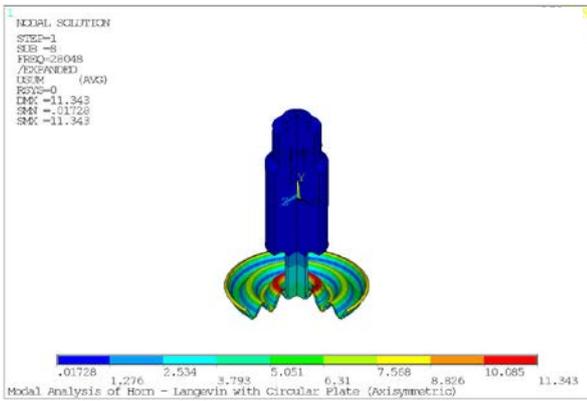
Rancangan Sonotrode (Penguat Mekanik)

Untuk proses pengeringan, penguat mekanik yang dibutuhkan tidak hanya berfungsi untuk memperbesar amplitudo yang dihasilkan oleh transduser tetapi juga untuk memperluas jangkauan gelombang ultrasonik yang dihasilkan. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut maka perlu ditambahkan plat pada ujung *stepped horn* (Gambar 3).

Untuk mendapatkan frekuensi pribadi *stepped-horn* dan piringan sesuai dengan frekuensi pribadi transduser (28 kHz), maka perlu didesain sedemikian rupa dengan memanfaatkan pemodelan struktur dinamik dengan MEH. Bentuk modus getar transduser dan *stepped-horn* yang telah ditambahkan piringan dapat dilihat pada gambar 4. Modus getar ini merupakan modus getar ke delapan.

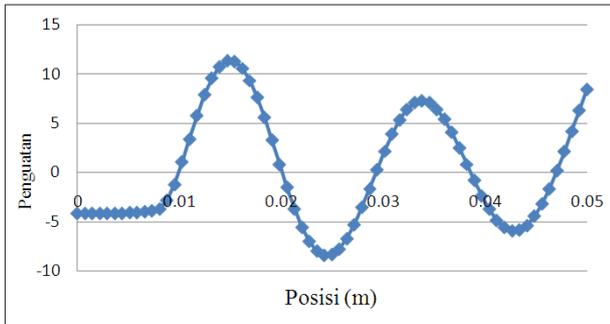


Gambar 3. BLT, *Stepped-horn* dan piringan pengereng



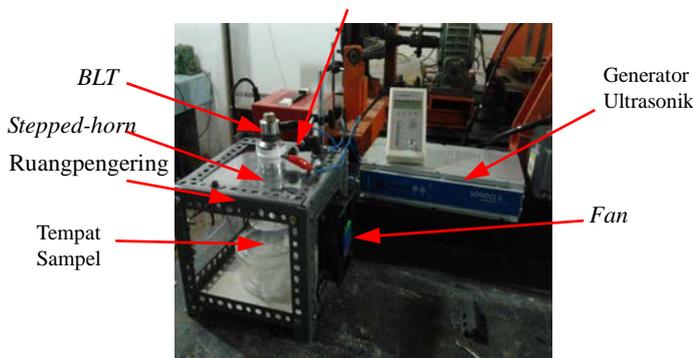
Gambar 4. Modus getar BLT & *stepped-horn* dan piringan pengering pada frekuensi 28 kHz

Pada gambar 5 ditampilkan penguatan yang terjadi pada piringan pengering yang dimulai dari titik pusat lingkaran. Pada gambar ini dapat dilihat perbesaran maksimum yang terjadi adalah 11 kali.



Gambar 5. Penguatan pada *BLT*, *stepped horn* dan piringan pengering berdasarkan jarak dari pusat lingkaran

Peralatan pengujian pada penelitian ini seperti diperlihatkan pada gambar 6.



Gambar 6. Perangkat pengujian

Adapun sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah wortel dan apel. Bentuk sampel yang digunakan diperlihatkan pada gambar 7.



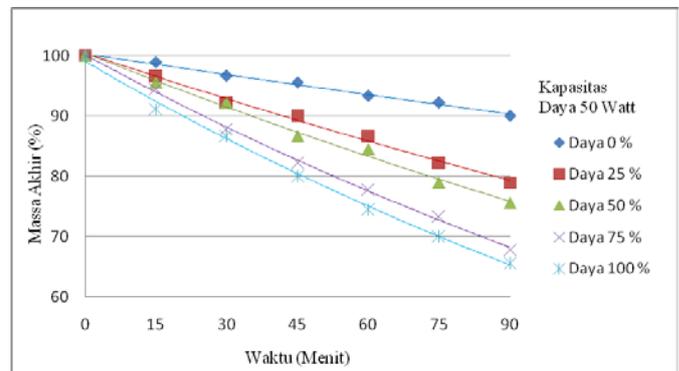
Gambar 7. Bentuk sampel dari potongan wortel

Masa sampel yang digunakan adalah 30 gram dan diletakkan di atas plat logam. Pada saat pengujian berlangsung sampel diletakkan tepat di bawah piringan pengering. Pengujian dalam penelitian ini dilakukan dalam rentang waktu 90 menit. Variasi yang dilakukan diuraikan sebagai berikut

1. Daya generator yang digunakan divariasikan mulai dari 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Pengujian dengan daya 0% memiliki arti bahwa pada pengujian tersebut tidak digunakan gelombang ultrasonik. Daya total yang digunakan adalah 50 Watt (daya *BLT*). Untuk kondisi daya 0% memiliki arti bahwa pengujian yang dilakukan tidak menggunakan gelombang ultrasonik, melainkan hanya menggunakan *fan* penghisap.
2. Jarak antara permukaan tempat sampel dengan *stepped-horn* divariasikan berdasarkan jarak satu gelombang penuh dan satu-setengah gelombang, yaitu 12 mm dan 18 mm.

4. Hasil Dan Pembahasan

Pada pengujian untuk pengeringan wortel yang dilakukan dengan jarak sampel dari piringan pengering sebesar satu gelombang (12 mm) didapatkan hasil seperti yang ditampilkan pada gambar 8.

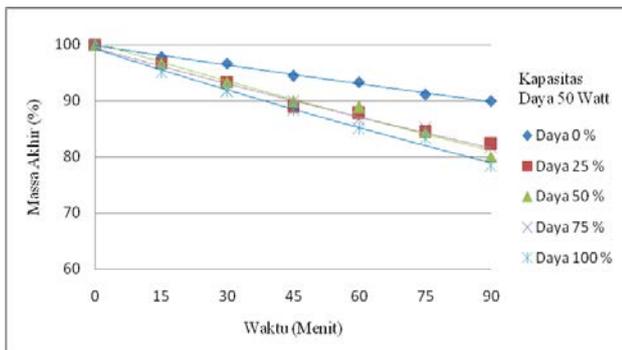


Gambar 8. Penurunan fraksi masa wortel pada jarak 1 gelombang

Pada gambar 8 diperlihatkan penurunan fraksi masa wortel dalam selang waktu 90 menit. Pada gambar ini juga dapat dilihat penurunan masa maksimum terjadi ketika daya generator yang digunakan sebesar 100 % dengan penurunan masa sampel sebesar 35 % dari masa awal. Sedangkan untuk pengujian dengan daya 0% atau pengujian tanpa menggunakan ultrasonik didapatkan penurunan masa sampel sebesar 10%.

Pengaruh daya yang digunakan memperlihatkan hasil bahwa peningkatan daya generator yang digunakan mengakibatkan laju pengeringan lebih tinggi. Hal ini diakibatkan oleh peningkatan amplitudo akibat efek pemakaian daya yang lebih besar.

Selanjutnya pengujian dilakukan dengan menempatkan sampel wortel di bawah piringan pengering dengan jarak sebesar 1,5 gelombang (18 mm). Pada pengujian ini didapatkan hasil seperti yang ditampilkan pada gambar 9.



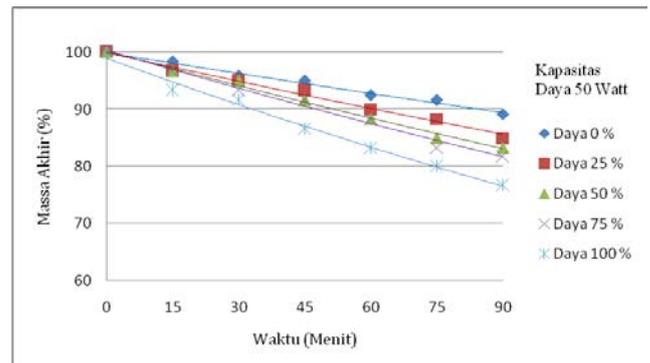
Gambar 9. Penurunan fraksi masa wortel pada jarak 1,5 gelombang

Pada gambar 9 dapat dilihat penurunan fraksi masa maksimum yang terjadi adalah sebesar 22%. Sedangkan untuk pengujian tanpa menggunakan ultrasonik didapatkan hasil penurunan masa sebesar 10%, hasil ini disamakan dengan hasil pengujian pada kondisi 1 gelombang. Pada gambar tersebut juga dapat dilihat tidak terjadi perbedaan hasil yang mencolok ketika gelombang ultrasonik 25%, 50%, 75% dan 100% digunakan, bahkan hasil yang didapatkan untuk pengujian dengan daya 75% hampir sama dengan kondisi pengujian dengan daya 25%.

Terdapat beberapa faktor yang memungkinkan terjadinya kondisi ini, salah satu nya adalah kondisi pemasangan baut yang berubah-ubah. Baut ini digunakan untuk memasang piringan pengering ke *stepped-horn*. Pemasangan baut yang terlalu kuat atau pun terlalu longgar dapat mengakibatkan terjadinya pergeseran frekuensi pribadi sistem. Kondisi ini akan menghasilkan amplitudo yang kecil dan *losses* berupa panas sehingga penurunan masa sampel pun menjadi berkurang.

Apabila dibandingkan dengan hasil pengujian untuk jarak 1 gelombang, hasil yang didapatkan pada jarak 1 gelombang jauh lebih baik. Hal ini dapat dilihat dari penurunan masa wortel untuk daya 100% pada jarak 1 gelombang sebesar 35% sedangkan pada jarak 1,5 gelombang hanya 20%.

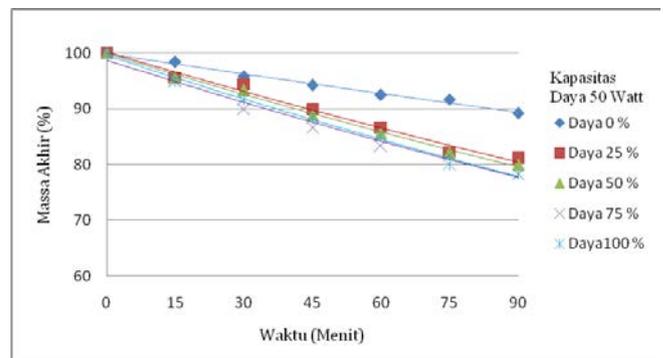
Pada pengujian selanjutnya, potongan-potongan apel digunakan sebagai sampel yang akan dikeringkan. Untuk jarak sampel dari piringan pengering sebesar satu gelombang (12 mm) didapatkan hasil pengeringan seperti yang ditampilkan pada gambar 10.



Gambar 10. Penurunan fraksi masa apel pada jarak 1 gelombang

Pada gambar 10 dapat dilihat bahwa hasil maksimum terjadi pada pengujian dengan daya 100% yaitu sebesar 23% dari masa awal. Untuk pengujian tanpa menggunakan ultrasonik didapatkan hasil penurunan masa apel sebesar 11% dari masa awal.

Selanjutnya pengujian dilakukan dengan menempatkan sampel apel di bawah piringan pengering dengan jarak sebesar 1,5 gelombang (18 mm). Pada pengujian ini didapatkan hasil seperti yang ditampilkan pada gambar 11.

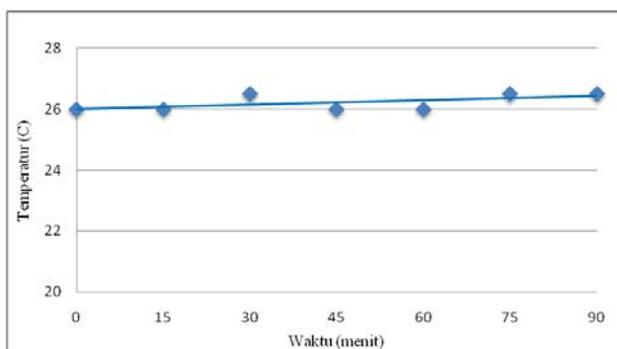


Gambar 11. Penurunan fraksi masa apel pada jarak 1,5 gelombang

Pada gambar 11 dapat dilihat bahwa penurunan masa maksimum adalah sebesar 22%. Hal ini terjadi ketika gelombang ultrasonik dengan daya 100% diaplikasikan. Untuk kondisi pengujian tanpa

ultrasonik hasilnya disamakan dengan pengujian apel pada jarak 1 gelombang yaitu sebesar 11%. Hal ini didasari oleh tidak adanya pengaruh jarak akibat tidak adanya gelombang yang merambat.

Temperatur merupakan hal yang tidak dapat diabaikan dalam proses pengeringan. Terjadinya peningkatan temperatur yang signifikan dapat mengakibatkan terjadinya penurunan kualitas akhir dari makanan yang dikeringkan. Pada pengujian dilakukan pengukuran terhadap temperatur sampel selama pengujian dengan hasil seperti yang diperlihatkan pada gambar 12.



Gambar 12. Perubahan temperatur selama pengujian

Dari gambar 12 dapat dilihat bahwa distribusi temperatur selama pengujian tidak memperlihatkan perubahan yang signifikan. Distribusi temperatur yang terjadi berkisar antara 26 dan 26,5⁰C. Dengan tidak terjadinya perubahan temperatur maka diharapkan kandungan zat yang terdapat dalam sampel tidak mengalami perubahan.

5. Kesimpulan

Dari hasil pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Efek gelombang ultrasonik dapat mengakibatkan terjadinya proses dehidrasi pada bahan makanan, khususnya wortel dan apel. Penurunan masa maksimum pada wortel adalah sebesar 35%. Penurunan masa maksimum pada apel adalah sebesar 22%. Semakin besar daya ultrasonik akan semakin besar pengurangan fraksi masa dari bahan yang dikeringkan
2. Pengujian pada jarak 1 gelombang memberikan hasil yang lebih maksimal dibanding pengujian jarak 1,5 gelombang.
3. Selama pengujian tidak terjadi perubahan temperatur yang signifikan sehingga kemungkinan terjadinya penurunan kualitas akhir makanan dapat dihindari.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiayai oleh Proyek I-MHERE dengan nomor kontrak No. 7/RG/I-MHERE/B.1/Unand/2011. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada Dikti, Unand, dan pimpinan proyek I-MHERE Unand 2011.

Referensi

- Blanco, S.d.F, Sarabia, S.R., 2006, *Food drying process by power ultrasound*, *Ultrasonics*, Vol. 44, pp. 523-527
- Cheeke, J.D.N, 2002, *Fundamentals and Applications of Ultrasonic Waves*, by CRC Press LLC
- Jarayaman, K.S., Das Gupta, D.K., 1992, *Dehydration of fruits and vegetables—Recent developments in principles and techniques*, *Drying Technology*. Vol. 10, No.1, pp. 1-50,
- Koyama, D., Ide, T., Friend, J.R, 2007, *An Ultrasonically Levitated Noncontact Stage Using Traveling Vibrations on Precision Ceramic Guide Rails*, *IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control*, vol. 54, no. 3, March 2007
- Priscilla Paiva Luz, Ana Maria Pires and Osvaldo Antonio Serra, 2007, *A Low Cost Ultrasonic Spray Dryer to Produce Spherical Microparticles from Polymeric Matrices*, *Quim. Nova*, Vol. 30, No. 7, pp. 1744-1746
- Sherrit, S. , Askins, S.A, 2002, *Novel Horn Designs for Ultrasonic/Sonic Cleaning Welding, Soldering, Cutting and Drilling*, *Proceedings of the SPIE Smart Structures Conference*, Vol. 4701, Paper No. 34,2002
- Susanti, D.Y. , 2008, *Efek Suhu Pengeringan Terhadap Kandungan Fenolik dan Kandungan Katekin Ekstrak Daun Kering Gambir*, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Pertanian 2008 – Yogyakarta*, 18-19 November 2008
- Tarleton, E.S., Wakeman, R.J., 1998, *Ultrasonically assisted separation process*, in: *M.J.W. Povey, T.M. Mason (Eds.), Ultrasounds in Food Processing*, Blackie Academic and Professional, London
- Townsend, R.J., 2006, *Modelling of a Microfluidic Ultrasonic Particle Separator*, Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, University of Southampton, Februari 2006
- Vladimir N. Khmelev, Andrey N. Lebedev, Maxim V. Khmelev,, 2008, *Ultrasonic Drying And Presowing Treatment Of Seeds*, Article on Biysk Technological Institute (branch) of Altay State Technical University I.I. Polzunov, Biysk, Russia