

**PELATIHAN PENGGUNAAN MESIN PASTEURISASI UNTUK
MEMENUHI STANDAR MUTU PRODUK MADU PADA
MAHASISWA PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
UNIVERSITAS SEBELAS MARET**

Lobes Herdiman, Ilham Priadythama, R Hari Setyanto, Taufiq Rochman

Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta
lobesherdiman@staff.uns.ac.id

Abstract

Pasteurization of raw honey for community service uses a combination of Heat Transfer Fluid (HTF) and Pulsed Electric Field (PEF) technology through digital control. This technology aims to reduce honey's water content, microorganisms, mold, and yeast so that fermentation does not occur. This service activity is to provide competency in the field of beverage product entrepreneurship for industrial engineering students at Universitas Sebelas Maret. This outcome is that students can acquire skills in operating pasteurization machines and controlling the quality of honey products to support entrepreneurship. This activity is carried out in four stages: checking the pasteurization machine, operation training, honey production training to meet Indonesian National Standards, training on pasteurization machine maintenance, and investment analysis. An indicator of this training is that industrial engineering students who are members of the Product Planning and Design Laboratory are competent in operating pasteurization machines to produce SNI-standard honey. Industrial Engineering students can set pasteurization parameters for raw honey. Future students can continue this activity to increase their competence in processing beverage products.

Keywords: Competence, honey, pasteurization, Standar Nasional Indonesia, HTF and PEF technologies.

Abstrak

Pasteurisasi madu mentah untuk pengabdian masyarakat menggunakan kombinasi teknologi Heat Transfer Fluid (HTF) and Pulsed Electric Field (PEF) melalui kontrol digital. Teknologi ini bertujuan untuk mengurangi kandungan air, mikroorganisme, kapang, dan khamir pada madu agar tidak terjadi fermentasi. Kegiatan pengabdian ini untuk memberikan kompetensi mahasiswa Teknik Industri Universitas Sebelas Maret di bidang kewirausahaan produk minuman. Luaran kegiatan ini adalah mahasiswa memiliki keterampilan dalam mengoperasikan mesin pasteurisasi, dan mengontrol mutu produk madu untuk mendukung kewirausahaan. Kegiatan ini dalam empat tahap adalah pengecekan mesin pasteurisasi; pelatihan pengoperasian mesin pasteurisasi; pelatihan produksi madu untuk memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI); dan pelatihan perawatan dan analisis investasi mesin pasteurisasi. Indikator keberhasilan peserta pelatihan pada mahasiswa Teknik Industri yang tergabung di Laboratorium Perencanaan dan Perancangan Produk memiliki kompetensi dalam mengoperasikan mesin pasteurisasi dalam memproduksi madu berstandar SNI. Mahasiswa Teknik Industri mampu men-setting parameter pasteurisasi untuk madu mentah. Kegiatan ini dapat dilanjutkan oleh mahasiswa selanjutnya sebagai upaya peningkatan kompetensi dalam mengolah produk minuman.

Keywords: Kompetensi, madu, pasteurisasi, Standar Nasional Indonesia, teknologi HTF dan PEF.

PENDAHULUAN

Madu merupakan bagian dari produk hayati alami dan memiliki manfaat bagi manusia sebagai makanan maupun obat. Badan Standarisasi Nasional (BSN) dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) mendorong akses standarisasi produk madu dengan menyediakan parameter komponen standarisasi kualitas madu mentah yang berasal dari madu nektar. Madu mentah yang berasal dari lebah madu nektar dapat ditingkatkan nilai ekonominya melalui proses pasteurisasi menjadi produk madu higienis. Produk madu proses pasteurisasi mempunyai umur simpan yang lebih lama dibandingkan tanpa pasteurisasi (Correa-Mosquera dkk., 2022). Kualitas madu ditentukan oleh pH, gula total, stabilitas dan ketahanan terhadap kontaminasi (Achmadi, 1991). Mikroba merupakan pengaruh utama atas mutu madu. Madu rusak secara visual ditandai dengan berbuih dan menghasilkan gas. Kadar mikroba dalam madu merupakan indikasi keasaman madu. Meningkatnya keasaman pada madu menunjukkan telah terjadi proses fermentasi alkohol menjadi asam organik, dan akhirnya madu menjadi rusak (Olofsson & Va'squez, 2008).

Madu mentah kemungkinan besar mengandung partikel dari sarang lebah termasuk potongan serbuk sari, sarang lebah, lilin lebah, dan bahkan bagian lebah yang patah (sayap, kaki, dll). Madu mentah hanya disaring terlihat keruh dibandingkan madu komersial. Madu mentah secara teknis adalah pemrosesan madu yang tidak dipanaskan, disaring, dipasteurisasi, atau diproses dengan cara apapun. Madu mentah paling baik dibeli langsung dari peternak lebah setempat. Peternak lebah lokal seperti Pak

Winardi yang berlokasi di Kecamatan Kerjo, Kab. Karanganyar, Jawa Tengah dengan skala sedang tidak memproses madu mentah yang dihasilkan dari lebah nektar. Lebah dirawat dengan pengobatan penyembuhan alami dan bebas antibiotik.

Standarisasi madu sebagaimana SNI 8664:2018 Madu merupakan gabungan standar antara SNI 3554:2013 Madu dan SNI 7899:2013 Pengelolaan Madu (Badan Standarisasi Nasional Indonesia, 2018). Madu komersial disyaratkan kandungan enzim diastase minimal 3 DN (*Diastase Number*), mikroba maksimal 100 CFU/g, tingkat keasaman maksimal 50 ml NaOH/kg, kandungan *hidroksimetilfurfural* (HMF) maksimal 40 mg/kg, dan kadar air maksimal 22 %b/b. Menurut penelitian Wibowo dkk. (2022) menjelaskan bahwa tingginya nilai HMF diakibatkan suhu proses thermal yang tinggi melebihi 60°C berdampak pada rendahnya nilai DN.

Pasteurisasi madu dengan cara konvensional melalui proses thermal yang tidak terkontrol memiliki banyak risiko seperti kehilangan nutrisi esensial, perubahan warna, perubahan bau dan rasa (Hawa dkk., 2020). Proses non thermal, di mana madu mentah akan menerima inaktivasi mikrobiologis atau tanpa adanya perlakuan thermal secara langsung (Chacha dkk., 2021). Kombinasi proses thermal dengan HTF dan proses non-thermal dengan PEF terbukti kehilangan nutrisi lebih rendah (Anggraini dkk., 2021; Herdiman dkk., 2023). Intergrasi proses thermal dan non-thermal mempunyai keunggulan adalah mampu mem-proses madu mental yang diawali dengan proses pemanasan terlebih dulu pada suhu mendekati 60°C. Selanjutnya proses ini dapat dihentikan dan dilanjutkan proses

PEF sampai cairan madu kembali pada suhu kamar (24°C). Teknologi PEF dirancang dengan pemanfaatan tegangan kejut listrik untuk mereduksi jumlah kapang dan khamir yang terkandung pada cairan madu (Hawa dkk., 2011). Menurut Iglesias dkk. (2014) menyatakan bahwa jenis khamir yang dapat tumbuh pada kondisi pH rendah dan konsentrasi gula tinggi sehingga menyebabkan proses fermentasi madu. Mesin pasteurisasi yang terintegrasi antara proses thermal dan non-thermal yang tepat, pada pengabdian masyarakat ini dengan kapasitas 80 ltr dapat memenuhi kebutuhan peternak lebah. Kapasitas ini sesuai jumlah produksi madu per 1 minggu dari peternak lebah madu dan mesin ini juga cocok diterapkan di usaha rumah tangga juga Usaha Mikro Kecil dan Menengah (UMKM). Selain itu, menurut Hariono dkk. (2010) menjelaskan bahwa teknologi PEF pada proses non-thermal memiliki keunggulan untuk pemrosesan madu dengan kapasitas di bawah 150 ltr adalah tidak memerlukan modal yang besar, dan kemudahan peng-operasian alat.

Proses pasteurisasi diawali dengan pemilihan madu adalah madu randu yang merupakan jenis madu *monofloral ceiba pentandra* yang dihasilkan oleh lebah *Apis mellifera* yang mengkonsumsi nektar dari bunga randu. Asal bunga pakan lebah berkontribusi terhadap tingginya kadar air dalam kandungan madu, menurut informasi peternak lebah bahwa madu randu memiliki ciri fisik lebih encer daripada madu yang bersumber dari bunga yang lain, memiliki bau khas alkohol, dan terdapat buih di permukaan madu. Hal ini menunjukkan madu randu memiliki kandungan kadar air yang tinggi (Amanto dkk., 2012), kemungkinan dipengaruhi oleh sumber

asal nektar dan polen dari bunga randu. Pohon randu memiliki periode pembungaan (*anthesis*) nokturnal hanya berbunga dan banyak mengeluarkan nektar dari pukul 17.00-05.00. Lebah madu mengumpulkan nektar *Ceiba pentandra* pada awal hari hingga menjelang tenggelamnya matahari. Kandungan nektar dan polen yang dihasilkan bunga randu yang kumpulkan memiliki kadar kelembaban tinggi akibat dari pengaruh rendahnya suhu dan tingginya kelembaban di malam hari. Madu randu membutuhkan periode kematangan dalam sarang lebah lebih lama daripada jenis madu dari sumber bunga lain (Fatma dkk., 2017).

Pelatihan pasteurisasi madu pada mahasiswa Teknik Industri sebagai peserta dengan bahan baku adalah madu randu sebanyak 50 kg madu mentah. Langkah selanjutnya mengatur parameter proses mesin pasteurisasi yang diawali dengan memasukan madu ke dalam tabung reaktor. Tujuan proses ini untuk memanaskan madu dengan proses thermal melalui HTF hingga suhu madu mencapai 60°C. Memasukkan pengaturan beberapa parameter melalui *display* kontrol digital berbasis *Human Mechine Interface* (HMI) meliputi suhu target adalah 60°C, kecepatan pengaduk adalah 25 rpm, menghidupkan pemanas (*heater*) 2 buah yang berada di dinding tabung reaktor, waktu pendinginan selama 120 menit. Selama proses pendinginan pada cairan madu diaktifkan proses non-thermal melalui PEF. Setelah data-data *input* parameter proses mesin pasteurisasi, selanjutnya memulai proses dengan menekan tombol *start* di layar *display* "Automatic". Peningkatan suhu dilakukan secara cepat pada 60 menit awal, ber-tujuan mendekati batas ketahanan mikro-organisme di suhu

50°C. Kemudian suhu madu dipertahankan pada suhu 50°C selama 60 menit untuk menurunkan kadar air madu. Tahap terakhir, peningkatan suhu ke 60°C untuk mematikan mikro-organisme dan jamur yang tersisa dengan waktu selama 60 menit. Setelah proses pemanasan selesai, modul PEF dihidup-kan hingga cairan madu kembali ke suhu kamar 24°C. Tunggu proses pastuerisasi berlangsung hingga alarm menyala dan mesin berhenti total. Setelah proses pasteurisasi selesai, kemudian buka kran pada tabung reaktor dan pindahkan ke wadah lain dan madu siap untuk dikemas.

Pelatihan melibatkan mahasiswa Teknik Industri di Lab. Perencanaan dan Perancangan Produk (P3) merupakan asisten lab. angkatan 2021 sebagai peserta pelatihan dan didukung di semester ber-langsung mata kuliah kewirausahaan. Pemahaman proses pasteurisasi yang disampaikan kepada peserta latihan menjadi pengetahuan dan keterampilan dalam kegiatan pengabdian kepada masyarakat (PKM). Lab. P3 sudah memiliki mesin pasteurisasi skala sedang dengan kombinasi antara teknologi HTF dan PEF. Akan tetapi mesin pasteurisasi belum dioperasikan dalam kapasitas produksi karena terkendala pengetahuan dan peng-operasian antara teknologi HTF dan PEF. Pihak lab. telah merancang program untuk menghasilkan produk madu hasil pasteurisasi dan produk turunannya agar dapat dipasarkan dan sekaligus belajar memahami mata kuliah kewirausahaan dan investasi usaha. Konsumen madu dan produk madu turunannya umumnya mengetahui bahwa mengkonsumsi madu menjadikan tubuh akan lebih sehat dan bugar. Akan tetapi madu hasil pasteurisasi dari usaha mikro

dipasaran masih jarang ditemukan hanya produk madu tertentu dari produksi perusahaan besar. Program PKM melalui pelatihan dan pendampingan pada mahasiswa Teknik Industri dalam meng-operasikan proses pasteurisasi hingga menghasilkan produk madu pasteurisasi siap dipasarkan.

METODE

Masalah utama pada madu yang dihasilkan oleh negara-negara tropis adalah penurunan kualitas yang cepat akibat fermentasi (Ghazali dkk., 1994). Madu mentah yang belum diolah cenderung mengalami fermentasi dalam beberapa hari masa penyimpanan pada suhu kamar akibat kadar air dan jumlah kapang dan khamir yang tinggi. Perlakuan panas pada madu mengurangi kadar air ke tingkat menghambat terjadinya proses fermentasi dan menghilangkan mikro-organisme penyebab fermentasi.

Madu mentah dipanaskan melalui proses thermal hingga suhu 60°C selama 60 menit dapat menghancurkan mikro-oragisme, kapang, dan khamir (Küplülü dkk., 2006). Proses pendinginan diikuti proses non-thermal mempunyai untuk melindungi warna alami, rasa, kandungan enzim, dan zat biologis lainnya (Wakhle & Phadke, 1995). Kegiatan pelatihan pada mahasiswa Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta angkatan 2021 merupakan asisten Lab. P3 untuk PKM dibagi menjadi beberapa tahapan pelaksanaan seperti dijelaskan pada Gambar 1.



Gambar 1: Skema pelatihan penggunaan mesin pasteurisasi untuk memenuhi standar mutu

Pelaksanaan kegiatan direncanakan dalam waktu 2 hari, gambaran teknis pelaksanaan kegiatan sebagai berikut (1) pengecekan mesin pasteurisasi dan peralatan pendukungnya merupakan analisis masalah dan mencari solusi pemecahan; (2) pelatihan penggunaan mesin pasteurisasi dan memproses madu bertujuan memberikan pemahaman bagai-mana mengoperasikan mesin pasteurisasi kepada mahasiswa Teknik Industri sesuai karakteristik madu; (3) pelatihan produksi madu menurut standar SNI bertujuan bagaimana menentukan parameter proses yang akan diinputkan sebagai perintah mesin untuk melaksanakan fungsi agar produk yang diproduksi memenuhi standar SNI; dan (4) pelatihan perawatan dan analisis investasi usaha madu pasteurisasi adalah memberikan pengetahuan kepada mahasiswa Teknik Industri mengenai perawatan, investasi usaha dan pengelola-an hasil produksi.

Capaian luaran dalam kegiatan pengabdian ini adalah mahasiswa Teknik Industri adalah mempunyai wawasan dan keterampilan mengoperasikan kombinasi antara teknologi HTF dan PEF dalam proses pasteurisasi madu. Memahami kontrol mutu produk madu berdasarkan input parameter proses pada mesin pasteurisasi, dan analisis investasi usaha pada proses pasteurisasi madu. Akhirnya kegiatan ini terbentuknya unit usaha madu dari hasil proses pasteurisasi dan produk madu turunannya.

Pelatihan pasteurisasi untuk me-

enuhi standar mutu madu yang diberikan sebanyak 2x pertemuan dengan durasi waktu masing-masing pertemuan selama 120 menit. Peserta diajarkan materi bagaimana proses pasteurisasi yang benar dan tepat menurut beberapa literatur dari pengolahan madu mentah. Kegiatan ini mendukung mahasiswa Teknik Industri menggali ide-ide usaha dan merancang rencana investasi dalam usaha pasteurisasi. Evaluasi kewirausahaan dan investasi selama pelatihan kepada peserta meliputi:

1. Ceramah, kasus inspirasi dan wawasan dalam berbisnis madu dan produk turunannya secara teoritis yang dapat diimplementasikan dan contoh dalam mengelola bisnis produk minuman,
2. Studi kasus dan diskusi kelompok, mengajak peserta untuk mengkritisi kasus dan temuan dalam berbisnis, bertujuan untuk mempertajam analisa bisnis produk minuman,
3. Brainstroming, proses kreatif untuk menghasilkan ide-ide yang berkaitan pemahaman dan wawasan berbisnis produk minuman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan PKM difokuskan pada mahasiswa Teknik Industri angkatan 2021, mereka sangat antusias dan mendukung kegiatan PKM ini. Rangkaian kegiatan PKM diawali dengan sosialisasi ketua tim PKM ke mahasiswa Teknik Industri sebagai asisten laboratorium P3. Selanjutnya ketua tim PKM melaksanakan pelatihan penggunaan mesin pasteurisasi dibantu mahasiswa angkatan 2019, mahasiswa ini sebelumnya secara bersama-sama

ikut membantu dalam proyek rekayasa mesin pasteurisasi. Mem-perkenalkan *setting data input* sebagai parameter mesin pasteurisasi kepada mahasiswa Teknik Industri angkatan 2021. Akhirnya ketua tim PKM mempersiapkan mesin pasteurisasi dan peralatan pen-dukung untuk memproses madu menjadi madu pasteurisasi seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2: Mesin pasteurisasi dengan kombinasi antara proses thermal dan non-thermal

Pelaksanaan PKM diselenggarakan selama 2 hari dari tanggal 17 - 18 Juli 2022 atau dihari Jumat dan Sabtu pukul 14.00 – 17.00 bertempat di Laboratorium P3. Peserta hadir di kegiatan PKM ini sebanyak 8 mahasiswa dan kegiatan ini telah publikasi di media *online* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

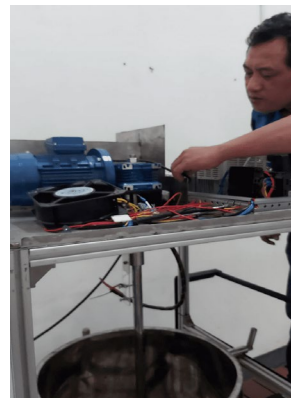


Gambar 3: Mesin pasteurisasi madu kreasi

mahasiswa Teknik Industri UNS

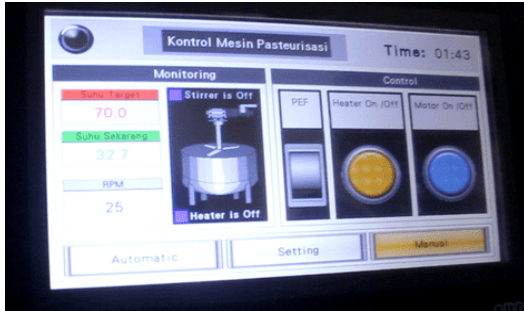
1. Pengecekan mesin pasteurisasi dan peralatan pendukungnya

Pelaksanaan hari pertama di hari Jumat pada tanggal 17 Juli 2022 dengan kegiatan pengecekan mesin pasteurisasi dan peralatan pendukung. Hasil inspeksi menunjukkan mesin pasteurisasi berfungsi dengan baik dan bekerja sesuai parameter yang telah diinputkan. Akan tetapi muncul masalah pada sistem pendingin untuk transformator atau trafo, di mana terjadi kekurangtepatan spesifikasi dari kipas pendingin yang dipasang, komponen ini berfungsi mengeluarkan panas akibat kenaikan tegangan. Hal ini dapat diatasi dengan mengganti kipas dengan kipas baru sesuai kebutuhan sistem. Masalah ini dapat diatasi sehingga sistem pengendalian suhu berfungsi dengan baik. Kegiatan inspeksi mesin pasteurisasi dijelaskan di Gambar 4.



Gambar 4: Perawatan mesin pasteurisasi

Mesin pasteurisasi dirancang ter-integrasi secara otomatis dengan setiap unit berdiri sendiri dengan kontrol suhu pasteurisasi otomatis, pengalihan aliran, dan perekaman data berkelanjutan untuk ketertelusuran dan kualitas proses terjamin seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5: Sistem kontrol secara digital dan otomatis pada mesin pasteurisasi

Rancangan ini memungkinkan pengembalian atau pemulihan panas secara optimal dengan biaya pengoperasian rendah. Mesin pasteurisasi tersedia dengan sistem pencampuran terintegrasi untuk produk khusus. Semua komponen mesin pasteurisasi dirakit dan telah diuji terhadap sistem mekanik dan mekanisme penggerak untuk memastikan proses pasteurisasi berfungsi tanpa hambatan. Kelayakan komponen mesin pasteurisasi dari modul yang dialiri listrik terhadap proses akan memberikan dampak tekno-ekonomi secara holistik, sehingga interaksi rancang-an pada pertukaran ekonomi yang dilaku-kan antara biaya modal dan biaya operasional (Kim dkk., 2022).

2. Pelatihan penggunaan mesin pasteurisasi dan memproses madu

Kegiatan PKM tahap kedua dilaksanakan pada hari Sabtu tanggal 18 Juli 2022 dengan materi prosedur operasional penggunaan mesin pasteurisasi dan produksi madu pasteurisasi. Pada tahap ini peserta pelatihan diberikan pengetahuan tata cara penggunaan dan operasional mesin dan peralatan pen-dukung meliputi cara kerja memulai pada mesin dan penggunaannya dibantu oleh mahasiswa yang terlibat pada proyek mengerjakan mesin. Cara penggunaan mesin

pasteurisasi dan memproses madu dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Mengisi tabung reaktor dengan cairan madu mentah sebanyak 40 liter dan dituangkan secara bertahap dan pelan-pelan agar madu terukur secara benar seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6: Cairan madu mentah dituangkan kedalam tabung reaktor

2. Menentukan data *setting* sebagai data *input* pada mesin pasteurisasi terbagi untuk proses thermal dan non-thermal seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7: Menentukan data setting pada mesin pasteurisasi

3. Menghidupkan kontrol suhu dan melakukan setting dari suhu kamar hingga 60°C dan atur waktu lamanya pemrosesan.
4. Menghidupkan kedua heater pada teknologi HTF dan menunggu hingga suhu mendekati *set point*.

5. Menghidupkan batang pengaduk (*stirrer*) dengan kecepatan 25 rpm untuk meratakan panas yang dialirkan ke cairan madu dari dinding tabung reaktor.
6. Menutup tabung reaktor dengan rapat agar terhindar dari kontaminasi unsur-unsur lain untuk menjaga kualitas madu seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8: Menutup rapat mesin pasteurisasi agar tidak terkontaminasi faktor lingkungan

7. Setelah suhu telah dicapai hingga 60°C proses thermal *off* yang ditunjukkan dengan alarm akan bunyi menandakan proses thermal sudah selesai dan dilanjutkan proses pendinginan madu.
8. Pada saat proses thermal *off* dilanjutkan proses non-thermal dengan menghidupkan modul PEF sebesar 30 kV selama 60 menit hingga suhu cairan madu kembali ke suhu kamar 24°C.
9. Proses non thermal melalui PEF, di mana batang pengaduk terus berputar selama 60 menit dengan kecepatan sama sebesar 25 rpm untuk meratakan *electric field* seperti pada Gambar 9.



Gambar 9: Modul PEF dalam kondisi hidup yang ditunjukkan dengan munculnya kejutan listrik

10. Setelah waktu proses non thermal sudah sesuai dengan waktu setting yang diinputkan mesin akan mem-berikan tanda berupa bunyi alarm artinya bahwa proses sudah selesai.
11. Setelah proses thermal dan non thermal selesai ditunggu 5 – 10 menit agar benar-benar buih yang terjadi pada madu dapat turun.
12. Kedua sistem untuk proses thermal dan non thermal di *off* kan agar aliran listrik dalam kondisi *off*.
13. Kemudian memiringkan tabung reaktor dan membuka kran tabung agar madu yang telah selesai diproses pasteurisasi dapat dipindahkan ke tempat lain, seperti jerigen 10 liter.
14. Setelah cairan madu hasil

proses pasteurisasi benar-benar habis dalam tabung reaktor dilanjutkan dengan membersihkan tabung dicuci dan dilap dengan alkohol agar tetap higienis.

15. Wadah atau tempat madu hasil pasteurisasi di mana cairan madu didinginkan kembali agar benar-benar dingin dan selanjutnya ditutup rapat agar tidak terkontaminasi oleh faktor lingkungan.

Materi produksi madu pasteurisasi diberikan ke peserta pelatihan meliputi persiapan bahan, proses pasteurisasi, pendinginan cairan madu, menguji produk mutu madu, dan diakhiri pengemasan. Akhir pelatihan ini peserta memahami operasional mesin pasteurisasi dan peralatan pendukung. Di pasar Indonesia belum ada mesin pasteurisasi dengan kapasitas di bawah 100 ltr, umumnya didominasi kapasitas ≥ 120 liter merek Pasteurizer dan tentunya berbiaya tinggi. Harapan kegiatan PKM adalah proses pasteurisasi mengubah madu mentah menjadi madu berkualitas tinggi. Mesin pasteurisasi ini muncul dua pilihan meliputi berinvestasi pada peralatan yang lebih besar dari yang dibutuhkan, atau memilih mesin *batch* yang melelahkan dan memakan waktu dijelaskan di Gambar 10.



Gambar 10: Mempersiapkan madu mentah yang akan diproses pasteurisasi

Khususnya bagi peserta pelatihan dapat memberikan gambaran peluang investasi dengan biaya murah (Wahyuni dkk., 2020), cenderung keterbatasan modal. Pada sesi pelatihan ini, peserta juga diberikan tata cara pengemasan produk hingga pelabelan. Kemasan disarankan menggunakan botol plastik *food grade*, seperti produk teh kombucha memiliki rasa dan aroma yang khas, meskipun tingkat keasaman teh kombucha pada setiap orang berbeda (Susanti dkk., 2023).

3. Pelatihan produksi madu menurut standar SNI

Pelaksanaan PKM tahap kedua, materi ditekankan kepada peserta bahwa masalah utama pada fermentasi madu adalah massa simpan madu di bawah 3 bulan sebelum terjadi perubahan warna, rasa, dan aroma. Selain karakteristik fisik, madu harus memenuhi standar SNI agar dapat dipasarkan.

Peserta diperkenalkan karakteristik kualitas madu adalah organoleptik, angka lempeng total, *diastase enzyme*, dan gula pereduksi. Organoleptik merupakan hasil penilaian subjek berdasarkan rasa, bau, warna, dan kekeruhan (Gutiérrez-Capitán dkk., 2019). Angka lempeng total (ALT) menunjukkan total bakteri dalam suhu ruang melalui media *Eosin Methylene Blue Agar* (EMBA) (Bauzad dkk., 2019). *Enzim diastase* merupakan enzim pemecah polisakarida $C_6(H_{10}O_5)_n$ menjadi mono-sakarida seperti glukosa ($C_6H_{12}O_6$) dan sukrosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$) (Maddinedi dkk., 2017). Pengujian *enzim diastase* dilakukan dengan mengamati semburat cahaya hasil alat *spectrophotometric* dan diformulasi dengan satuan DN (Mutlu dkk., 2018). Madu yang digunakan pada PKM dari nektar pohon *Ceiba pentandra* dengan kondisi fisik

berwarna kuning kecoklatan. Kondisi madu mentah ditunjukkan pada Gambar 10 menjelaskan kondisi fisik madu mentah proses awal dan setelah proses pasteurisasi.



Gambar 10: Kondisi fisik madu pada saat awal dan setelah proses pasteurisasi

Hasil uji laboratoris di UPT Laboratorium Pusat UNS sebanyak 5 karakteristik uji terdiri dari organoleptik, enzim diastase, kadar glukosa, kadar sukrosa, dan nilai lempeng total seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Pengujian organoleptik menunjukkan madu tidak mengalami perubahan rasa dan bau setelah proses pasteurisasi. Madu juga tidak mengalami perubahan organoleptik setelah penyimpanan selama 3 bulan. Aktivasi enzim diastase meningkat dari 4,08 DN menjadi 6,74 DN. Aktivasi enzim diastase menunjukkan peningkatan sebesar 65% dan memenuhi syarat SNI dengan nilai minimal 3 DN. Kadar gula madu mengalami peningkatan dari 43,4% menjadi 44,9%. Peningkatan kadar gula belum memenuhi SNI dengan nilai minimal 65% disebabkan terjadi penurunan kadar air pada kandungan madu mengakibatkan cairan madu semakin kental dibandingkan sebelum pasteurisasi.

Tabel 1. Hasil pengujian madu pada saat awal dan setelah proses pasteurisasi

No.	Karakteristik Pengujian	Persyaratan Kualitas Madu SNI	Uji Laboratorium	
			Madu Mentah	Madu Pasteurisasi
1.	Organoleptic: • Rasa • Aroma	Rasa khas madu Rasa khas madu	Lulus Lulus	Lulus Lulus
2.	Diastase Enzyme Activation	Min. 3 DN	4,08	6,74
3.	Sugar content glucose	Min. 65 % (b/b)	43,4	44,9
4.	Sucrose	Max. 5 % (b/b)	20,97	17,69
5.	Total Plat Number	Max. 5×10^3 Col/ml	$9,5 \times 10^1$	$5,8 \times 10^2$

Peningkatan kadar sukrosa dari standar SNI dengan penurunan kadar dari 20,97% menjadi 17,69%. Kadar sukrosa belum memenuhi SNI dengan nilai maksimal 5% disebabkan kandungan air pada cairan madu terjadi penurunan mengakibatkan madu semakin kental bila dibandingkan sebelum di pasteurisasi. Nilai lempeng total mengalami peningkatan dari $9,5 \times 10^1$ col/ml menjadi $5,8 \times 10^2$ col/ml. Nilai lempeng total masih berada di bawah ketentuan syarat SNI dengan jumlah maksimal sebanyak 5×10^3 col/ml. Kondisi fisik madu menunjukkan buih putih pada permukaan cairan madu dan perubahan warna dari kuning keemasan menjadi oranye tua.

Pada kesempatan PKM ini, disampaikan kepada semua peserta yang mengikuti pelatihan proses pasteurisasi bahwa pentingnya meningkatkan mutu produk madu ber SNI untuk perlindungan konsumen dan peningkatan daya saing. Kedepannya, akan semakin banyak peserta yang terlibat dijadikan role model dalam implementasi SNI.

4. Pelatihan perawatan dan analisis investasi usaha madu pasteurisasi

Materi perawatan meliputi bongkar pasang batang pengaduk, baling-baling pengaduk, mencuci tabung reaktor, dan perawatan komponen pendukung mesin pasteurisasi. Kegiatan perawatan rutin adalah mem-bersihkan tabung reaktor, batang peng-aduk, dan baling-baling pengaduk. Materi analisis investasi melalui ceramah, studi kasus, dan *brainstroming* dengan memberi contoh perhitungan analisis investasi mesin pasteurisasi. Materi yang disampai-kan kepada peserta adalah perawatan mesin pasteurisasi, analisis investasi usaha, dan produksi madu pasteurisasi. Materi analisis investasi usaha madu pasteurisasi meliputi *Payback Periode* (PP), *Internal Rate Return* (IRR), dan *Net Present Value* (NPV).

Investasi berhubungan keputusan pendanaan usaha terhadap kelayakan investasi dari mesin pasteurisasi dengan estimasi kapasitas olahan madu sebanyak 50 kg setiap proses dengan biaya listrik Rp 1.445/kWh. Tenor pengembalian pinjaman selama 2 tahun dengan pinjaman 100 juta dan bunga 6% per tahun. Perhitungan PP dengan waktu pengembalian investasi 139 hari dan layak dilakukan sebelum tenor maksimal 2 tahun. Rasio IRR selama 2 tahun menunjukkan angka 2,7% dan meningkat menjadi 5,6%, di mana rasio IRR berada di atas MARR 5,2% dari suku bunga Bank Indonesia (SBI) tahun 2023 dengan nilai NPV pendapatan selama 2 tahun dicapai sebesar Rp 58.967.830. Nilai kelayakan investasi mesin pasteurisasi memenuhi syarat dan tidak membebani keuangan usaha madu pasteurisasi.

Pemaparan kegiatan produksi madu pasteurisasi meliputi pembelian

madu di peternak lebah, persiapan sebelum pasteurisasi, proses pasteurisasi madu, dan pengujian mutu produk madu. Hasil produk madu dari peserta pelatihan me-nunjukkan telah mampu mengoperasikan dan memproduksi madu pasteurisasi. Peserta pelatihan mampu menjaga kualitas mutu madu. Kegiatan pengabdian ini diharapkan dapat berkelanjutan untuk membantu mahasiswa Teknik Industri dalam meningkatkan kompetensi di industri produk minuman.

SIMPULAN

Pasteurisasi madu melalui kombinasi teknologi HTF dan PEF dengan batasan standar suhu pemanasan dan waktu untuk mengurangi kandungan air di bawah 20% untuk memperpanjang umur simpan madu. Oleh karena itu, menjaga kesegaran madu dan menggunakan suhu pemanasan standar merupakan parameter pengendalian kualitas. Metode standar dengan penentuan *diastase* dan kandungan HMF memberikan pengaruh pada pasar madu nasional.

Mahasiswa Teknik Industri memiliki pemahaman tata cara penggunaan dan perawatan mesin pasteurisasi, berhasil memproduksi madu pasteurisasi, dan me-mahami fungsi kontrol mutu. Pemahaman analisis ekonomi produksi madu pas-teurisasi diberikan kepada mahasiswa Teknik Industri agar dapat dilanjutkan ke mahasiswa angkatan berikutnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM UNS Surakarta atas dana penelitian “Desain Generator Pulsa Tegangan Tinggi Menggunakan Medan

Listrik Pulsa Pada Pasteurisasi Madu Untuk Meningkatkan Mutu Madu Bagi Usaha Mikro, Kecil dan Menengah” melalui Dana Hibah Non-APBN Tahun 2022, PKM dengan Nomor Kontrak: 255/UN27.22/PM.01.01/2022. Terima kasih kepada Bapak Winardi, peternak lebah madu di Kecamatan Kerjo, Kab. Karanganyar, Jawa Tengah, dan Bapak Priharmanto dalam menyelesaikan pembuatan mesin pasteurisasi madu, dan Daniel Bani Bayu Aji atas percobaan penggunaan mesin pasteurisasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi, S. 1991. *Analisis kimia produk lebah madu dan pelatihan staf laboratorium pusat perlebahan nasional parung panjang*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB, Bogor.
- Anggraini, I. N., Simarmata, E. K., Daratha, N., Herawati, A., & Rodiah, Y. 2021. Rancang Bangun Alat Pasteurisasi Non-Thermal Dengan Pulsed Electric Field (PEF). *Amplifier Journal: Scientific Journal of Electrical and Computer Engineering*, Vol. 11 No. 2, 8-12.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia 2018. *SNI 8664:2018: Madu*. Badan Standarisasi Nasional Indonesia, Jakarta.
- Bauzad, M., Yuliati, F. N., Prahesti, K. I., & Malaka, R. 2019. Total plate count and Escherichia coli in raw buffalo milk in curio district enrekang regency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 247 No. 1, 1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/247/1/012027>.
- Bram, B. (ed.). 2022. Terinspirasi dari Petani Lebah, Mahasiswa Ini Membuat Mesin Pasteurisasi Madu. Diakses 6 Agustus 2022 dari <https://radarsolo.jawapos.com/teknologi/841688563/terinspirasi-dari-petani-lebah-mahasiswa-ini-membuat-mesin-pasteurisasi-madu>
- Chacha, J. S., Zhang, L., Ofoedu, C. E., Suleiman, R. A., Dotto, J. M., Roobab, U., Agunbiade, A. O., Duguma, H. T., Mkojera, B. T., Hossaini, S. M., Rasaq, W. A., Shorstkii, I., Okpala, C. O., R., Korzeniowska, M., & Guiné, R. P. F. 2021. Revisiting non-thermal food processing and preservation methods—Action mechanisms, pros and cons: A technological update (2016–2021). *Foods*, Vol. 10 No. 6, 1-26, <https://doi.org/10.3390/foods10061430>.
- Correa-Mosquera, A. R., Quicazán, M. C., & Zuluaga-Domínguez, C. M. 2022. Shelf-life prediction of pot-honey subjected to thermal treatments based on quality attributes at accelerated storage conditions. *Food Control*, Vol. 142, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109237>.
- Fatma, I. I., Haryanti, S., & Suedy, S. W. A. 2017. Uji Kualitas Madu Pada Beberapa Wilayah Budidaya Lebah Madu Di Kabupaten Pati. *Jurnal Biologi*, Vol. 6 No. 2, 58-65.
- Ghazali, H. M., Ming, C. T., & Hashim, D. M. 1994. Effect of Microwave Heating on the Storage and Properties of Starfruit Honey. *ASEAN Food J.*, Vol. 9 No. 1, 30-35.

- Gutiérrez-Capitán, M., Brull-Fontserè, M., & Jiménez-Jorquera, C. 2019. Organoleptic analysis of drinking water using an electronic tongue based on electrochemical micro-sensors. *Sensors*, Vol. 19 No. 6, 1-16. <https://doi.org/10.3390/s19061435>.
- Hariono, B., Erawantini, F., Budiprasojo, A., & Puspitasari, T. D. 2021. Perbedaan nilai gizi susu sapi setelah pasteurisasi non termal dengan HPEF (High Pulsed Electric Field). *Action: Aceh Nutrition Journal*, Vol. 6 No. 2, 207-212. <http://dx.doi.org/10.30867/action.v6i2.531>.
- Hawa, L. C., Bambang, S., & Natalia, E. J. 2011. Studi Komparasi Inaktivasi *Escherichia coli* dan Perubahan Sifat Fisik Pada Pasteurisasi Susu Sapi Segar Menggunakan Metode Pemanasan dan Tanpa Pemanasan dengan Kejut Medan Listrik. *Jurnal Teknologi Pertanian*, Vol. 12 No. 1, 31-39.
- Herdiman, L., Susmartini, S., Rochman, T., Setyanto, R. H., Priadythama, I. 2023. Sosialisasi usaha minuman madu lemon siap minum merek honey lemon silina hasil proses pasteurisasi di kalangan generasi z kota surakarta melalui preferensi konsumen dan harga pembelian. *MARTABE : Jurnal Pengabdian Masyarakat*, Vol. 6 No. 11, 4064-4076. <https://doi.org/10.31604/jpm.v6i11.4064-4076>.
- Iglesias, A., Pascoal, A., Choupina, A. B., Carvalho, C. A., Feás, X., & Estevinho, L. M. 2014. Developments in the Fermentation Process and Quality Improvement Strategies for Mead Production. *Molecules*, Vol. 19, 12577-12590; <http://dx.doi.org/10.3390/molecules190812577>.
- Kim, J.-K., Son, H., & Yun, S. 2022. Heat integration of power-to-heat technologies: Case studies on heat recovery systems subject to electrified heating. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 331, 1-14, 130002. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130002>.
- Küplülü, Ö., Göncüoğlu, M., Özdemir, H., & Koluman, A. 2006. Incidence of *Clostridium botulinum* spores in honey in Turkey. *Food Control*, Vol. 17 No. 3, 222-224. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2004.10.00>
- Maddinedi, S. B., Mandal, B. K., Patil, S. H., Andhalkar, V. V., Ranjan, S., & Dasgupta, N. 2017. Diastase-induced green synthesis of bilayered reduced graphene oxide and its decoration with gold nanoparticles. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, Vol. 166, 252-258. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.12.008>.
- Mutlu, C., Tontul, S. A., & Erbaş, M. 2018. Production of a minimally processed jelly candy for children using honey instead of sugar. *LWT - Food Science and Technology*, Vol. 93, 499-505. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.064>.
- Olofsson, T. C., & Va'squez, A. 2008. Detection and Identification of a Novel Lactic Acid Bacterial Flora Within the Honey Stomach of the Honeybee *Apis mellifera*. *Curr Microbiol*, Vol.

- 57, 356-363.
<https://doi.org/10.1007/s00284-008-9202-0>.
- Susanti, Y., A'yun, A. Q., Ansori, A., Sekaringgalih, R., Rachmach, A. N. L., Hanum, N. S. 2023. Pelatihan Pembuatan Minuman Probiotik Teh Kombucha dengan Varian Tanaman Herbal di Desa Bagorejo-Banyuwangi. *Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*, Vol. 8 No. 2, 410-420.
<https://doi.org/10.30653/jppm.v8i2.383>.
- Wahyuni, S., Widodo, J., Zulianto, M., & Islami, N. N. 2020. The analysis of e-commerce utilization in Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs) at Jember. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 485, 1-7. 012037.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/485/1/012037>.
- Wakhle, D. M., & Phadke, R. P. 1995. Design for Honey Processing Unit Part I. *Indian Bee J.*, Vol. 57, 144-146.
- Wibowo, S. A., Latriyanto, A., Vera, V. V., Susilo, B., Sumarlan, S. H., Hawa, L. C., Zubaidah, E. 2022. Analisis Mutu Madu Setelah Proses Pasteurisasi dan Pendinginan Cepat. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, Vol. 10 No. 2, 203-212.
<https://doi.org/10.29303/jrpb.v10i2.407>.