

INTERPRETASI FUNGSI TEMBIKAR DARI SEKTOR ABH KAWASAN PERCANDIAN MUARAJAMBI BERDASARKAN ANALISIS RESIDU DENGAN MENGGUNAKAN METODE *GAS CHROMATOGRAPHY-MASS SPECTROMETRY* (GC/MS)

Dian Sulistyowati¹, Dicky Caesario Wibowo², dan Hafiyyan Dinan Ardiansyah²

¹Departemen Arkeologi, Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya
Jalan Prof. Dr. Selo Soemardjan, Universitas Indonesia, Depok – 16424
dian.sulistyowati17@gmail.com

²Program Studi Magister Ilmu Forensik, Sekolah Pascasarjana,
Jalan Dharmawangsa Dalam Selatan No.30, Universitas Airlangga, Surabaya -60286
dickycaesario@gmail.com

Abstract. *Interpretation Of The Pottery Function From The Abh Sector In Muarajambi Temple Based On Residual Analysis Using Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC/MS)*

Method. *Pottery is one of the artifacts that found in most archaeological sites, and it found both in prehistoric and historic context. Even though mostly found in fragments, the availability of pottery can help archaeologists reconstruct culture in the past. There are many methods and attempts to analyze pottery from archaeological sites. One of the recent development is lipid analysis from the inner pores of pottery Selatan. By using Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC/MS) methods, an archaeologist can identify and characterize lipid in pottery. This paper focuses on the preparation and residue analysis stage of pottery samples from Kawasan Percandian Muarajambi. Since sample preparation rarely describes in books, we try to present a small part of lipid analysis before the results can be used as a pottery function. The analysis showed that there were organic chemical compounds left in the pottery samples, among others are vegetable and animal fats. Initial information obtained from the results of the analysis is that there is an indication that the pottery fragments function as cooking containers, this is reinforced by the presence of combustion compounds found in pottery residues and the absence of traces of contamination on the residues. However, the results of this analysis are initial indications that still need to be strengthened by contextual analysis, and cannot be applied in general to other sites in Muarajambi Temple Area.*

Keywords: *Muarajambi Temple Area, pottery preparation sample, organic residue, GC/MS*

Abstrak. Tembikar merupakan salah satu artefak yang umum ditemukan pada situs arkeologi, baik situs masa prasejarah maupun masa sejarah. Walaupun sebagian besar dari temuan tembikar ditemukan dalam bentuk pecahan, keberadaan tembikar dalam satu situs arkeologi dapat membantu upaya rekonstruksi kehidupan manusia pada masa lalu. Rekonstruksi ini dilakukan melalui berbagai metode analisis dan pendekatan, di antaranya analisis residu untuk mengetahui fungsi tembikar tersebut. Melalui metode analisis *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC/MS) dapat dideteksi keberadaan sisa organik residu dan memberikan penjelasan mengenai fungsi tembikar tersebut pada masa lalu. Tulisan ini berfokus pada tahap persiapan dan analisis residu beberapa sampel tembikar di Kawasan Percandian Muarajambi melalui metode GC/MS. Tahap penyiapan sampel menjadi penting karena hingga saat ini belum banyak tulisan yang menguraikan secara terperinci mengenai hal tersebut. Hasil analisis memperlihatkan adanya senyawa kimia organik yang tertinggal pada sampel tembikar di antaranya lemak nabati dan hewani. Informasi awal yang diperoleh adalah adanya indikasi bahwa fragmen tembikar tersebut berfungsi sebagai wadah memasak. Hal itu diperkuat oleh adanya senyawa hasil pembakaran pada residu tembikar dan tidak adanya jejak kontaminasi. Namun, hasil analisis ini adalah indikasi awal yang masih

Naskah diterima tanggal 09 Agustus 2020, diperiksa tanggal 27 Januari 2021, dan disetujui tanggal 16 Juni 2021.

perlu diperkuat melalui analisis kontekstual, yang tidak dapat diberlakukan secara umum pada situs lain di Kawasan Percandian Muarajambi.

Kata Kunci: Kawasan Percandian Muarajambi, preparasi sampel tembikar, residu organik, GC/MS

1. Pendahuluan

Tembikar (*earthenware*) adalah keramik yang dibakar dengan suhu 350° -- 1.000° Celcius. Bahan dasarnya berupa tanah liat dengan beberapa campuran lain (*impurities*). Tembikar bersifat menyerap dan dapat ditembus oleh air karena memiliki permeabilitas yang relatif sedang sampai tinggi dan berpori banyak. Bahan dasar itu biasanya (tetapi tidak selalu) dicampur dengan bahan lain sebagai temper, seperti pasir, pecahan karang, potongan-potongan kecil sekam padi, atau hancuran tembikar yang tidak terpakai lagi (*grog*) (Rangkuti, Inge Pojoh, Naniek Harkantiningih 2008,1).

Keberadaan tembikar sampai sekarang masih digunakan dalam aktivitas sehari-hari, baik oleh masyarakat tradisional maupun modern. Tembikar memiliki peranan penting dalam kehidupan sehari-hari, misalnya untuk menyimpan, membawa, dan memasak bahan makanan. Ada pula fungsi sakralnya, yakni sebagai bagian dari peralatan suatu upacara dan bekal kubur (Sharer and Ashmore 2003, 130).

Analisis tembikar dalam ilmu arkeologi dapat dilakukan dengan berbagai pendekatan, yaitu melalui analisis stilistik, bentuk, teknologi, dan fungsi (Shepard 1985, 224-225; Sharer and Ashmore 2003, 132). Tiga analisis pertama (stilistik, bentuk, dan teknologi) dilakukan secara makroskopis, yaitu melalui pengamatan dan identifikasi tembikar (Rice 2005, 244). Analisis fungsi dilakukan dengan menghubungkan, selain konteks temuan dengan satuan ruang, juga melalui pengamatan secara mikroskopis terhadap unsur pembentuk material dan residu yang ditemukan pada permukaan material tersebut (Rice 2005, 244; Orton and Hughes 2013, 246).

Analisis residu organik yang umumnya dilakukan pada artefak adalah analisis polen, butir pati (*starch*), dan fitolit. Analisis polen dilakukan untuk mengetahui lingkungan masa lalu suatu situs dengan menganalisis mikrofosil pada lapisan tanah dan residu yang menempel pada permukaan artefak (Fajari 2009, 146). Analisis butir pati dilakukan untuk mengetahui sumber makanan manusia pada masa lalu sebagai bentuk adaptasi manusia terhadap lingkungannya (Crowther 2005, 62). Analisis fitolit dilakukan untuk mengungkapkan bentuk eksploitasi dan pemanfaatan vegetasi serta pemanfaatan lingkungan pada masa lalu di situs arkeologi (Bowdery 2001, 227). Dalam kajian fungsi tembikar, salah satu residu organiknya berupa polen, protein, karbohidrat, resin, dan lipid (lemak nabati dan hewani) (Rice 2005, 233).

Kembali pada analisis fungsi tembikar, analisis mikroskopis dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Gas Chromatometry-Mass Spectrometry* (GC/MS), yaitu metode analisis kimia yang bertujuan untuk mengidentifikasi berbagai macam unsur kimia dari sebuah materi atau substansi. Analisis GC/MS dalam tulisan ini berfokus residu pada fragmen tembikar di Kawasan Percandian Muarajambi. Hal itu dilakukan untuk mengidentifikasi kandungan lipid atau senyawa lemak yang terdapat pada permukaan tembikar.

Secara khusus tulisan ini akan menguraikan tahap preparasi sampel tembikar yang seringkali tidak diilustrasikan secara lengkap dalam tulisan atau penelitian sebelumnya. Dengan demikian, akan diperoleh langkah kerja untuk penelitian sejenis. Tulisan ini bertujuan untuk memberikan gambaran mengenai fungsi tembikar yang terdapat di Kawasan Percandian Muarajambi dengan menggunakan metode GC/MS.

2. Metode

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif melalui tahap pengumpulan data, pengolahan data, dan interpretasi. Pengumpulan data dilakukan dengan memilah, menyeleksi, dan menentukan kriteria sampel. Kriteria tersebut, antara lain (a) merupakan bentuk periuk; (b) merupakan bagian dasar, badan, dan tepian; (c) memiliki dimensi pecahan yang besar ($> 2 \times 2$ cm); (d) memiliki ketebalan pecahan 1--2 cm; dan (e) memiliki bekas jelaga dengan dimensi yang cukup besar ($> 2 \times 2$ cm),

Pada tahap pengolahan data, sampel tembikar diproses dengan melakukan pengeboran untuk mendapatkan bubuk yang halus, kemudian dianalisis melalui metode GC/MS. Metode ini digunakan untuk menganalisis senyawa kimia sampel dengan menggabungkan prinsip kerja dari *Gas Chromatography dan Mass Spectrometry*. *Gas Chromatography* adalah cara menganalisis unsur kimia untuk memisahkan senyawa yang molekulnya dapat diubah menjadi uap tanpa menunggu proses dekomposisi. *Mass Spectrometry* merupakan

metode analisis kimia untuk mengkuantifikasi jumlah unsur tersebut dalam sebuah senyawa yang tidak diketahui (Fankhauser 1994, 237). GC/MS adalah gabungan kedua metode tersebut dan memiliki sensitivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan masing-masing alat walaupun jumlah sampelnya sangat sedikit (Evershed *et al.* 1991, 192--193; Malainey *et al.* 1994, 169-170).

Tahap akhir adalah interpretasi untuk menjelaskan hasil pembacaan GC/MS berupa senyawa sampel tembikar dikaitkan dengan fungsinya di masa lalu. Namun, penjelasan dibatasi pada senyawa lipid hasil pembacaan mesin GC/MS, dan mengaitkannya dengan fungsi tembikar tersebut pada masa lalu.

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

3.1 Situs dan Sampel Penelitian

Kawasan Percandian Muarajambi merupakan situs pada masa sejarah (klasik), yaitu tinggalan Kerajaan Melayu Kuno dan Sriwijaya. Selain bangunan monumental, juga ditemukan berbagai artefak, di antaranya



Gambar 1. Peta udara lokasi survei dan ekskavasi (Sumber: *Google Maps* telah diolah kembali, 2021)

tembikar, *stoneware*, dan porselen. Pada tahun 2018 Departemen Arkeologi FIB UI bekerja sama dengan Departemen Geologi FMIPA UI dan didukung oleh Direktorat Pelestarian Cagar Budaya dan Permuseuman, Direktorat Jenderal Kebudayaan, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan melakukan survei dan ekskavasi di Kawasan Percandian Muarajambi, tepatnya di lokasi antara Candi Astano dan Candi Kembarbatu. Lokasi ini sekarang merupakan lahan milik seorang warga yang bernama Abu Hanifah. Oleh sebab itu, lokasi survei dan ekskavasi disebut Sektor ABH (Abu Hanifah).

Berdasarkan penelitian Rangkuti (1988) mengenai kepadatan persebaran artefak keramik, daerah sekitar candi Astano dan Tinggi merupakan daerah permukiman di luar lingkungan bangunan candi. Informasi ini diperkuat hasil penelitian Widiatmoko (2015) bahwa sekitar candi Astano kemungkinan merupakan pemukiman di luar kompleks percandian yang dihuni oleh murid, pengurus, dan biksu yang menuntut ilmu di *Māhaviharā* Muara Jambi. Atas dasar hasil penelitian tersebut dan didukung oleh temuan permukaan berupa fragmen keramik melalui survei mahasiswa Program Studi Arkeologi FIB UI pada 2018, letak Sektor ABH diasumsikan merupakan daerah bekas hunian pada masa lalu. Dengan demikian, perlu dilakukan analisis lebih lanjut terhadap temuan artefaktual di Sektor ABH untuk mengungkap lebih jauh kehidupan manusia pada masa lalu di Kawasan Percandian Muarajambi ini. Salah satu di antaranya melalui analisis residu terhadap tembikar yang ditemukan di Sektor ABH.

Sektor ABH pada saat dilangsungkan survei dan ekskavasi adalah lahan aktif yang digunakan sebagai kebun. Kondisi lahan tidak steril karena telah terganggu oleh aktivitas manusia, dalam hal ini pengolahan lahan dengan cangkul dan pembakaran sisa-sisa tanaman setelah panen. Jumlah seluruh temuan tembikar dari empat kotak *test pit* dan dua kotak

ekskavasi, yaitu kotak E2 dan kotak E3 sebanyak 3.071 fragmen. Lebih banyak fragmen tembikar ditemukan pada saat ekskavasi dibandingkan dengan hasil survei dan pembuatan kotak *test pit*. Sampel penelitian dipilih berdasarkan kriteria inklusif, yakni sepuluh tembikar yang dianalisis lipid dengan menggunakan GC/MS. Pemilihan kriteria inklusif adalah sebagai berikut:

Kriteria (i) dan (ii) dibangun atas asumsi yang sifatnya teoretis. Kedua kriteria ini hasil studi pustaka tentang etnoarkeologi tembikar dalam masyarakat tradisional, khususnya ketika dipakai sebagai wadah memasak. Hal itu diketahui melalui analisis lipid dalam mendeteksi jenis lemak yang tertinggal pada pori-pori permukaan tembikar ketika merekonstruksi jenis bahan makanan yang dikonsumsi oleh masyarakat masa lampau. Ada jenis wadah yang sering dipakai untuk memasak dan ada pula wadah yang meninggalkan jejak jelaga seusai proses memasak. Bentuk wadah tersebut, antara lain wadah terbuka atau wadah dengan tutup yang memiliki bentuk dasar globular seperti periuk. Adapun bagian yang sering menyisakan jelaga pada permukaan internal adalah bagian dasar, badan, dan tepian mendekati bagian pundak wadah (Stacey 2009, 3).

Kriteria (iii), (iv), dan (v) dibangun atas dasar teknis pengerjaan untuk penyiapan sampel. Hal pertama yang perlu dijelaskan adalah jumlah bubuk yang harus disiapkan, karena pecahan tembikar bukan wadah utuh maka kriteria dimensi dan ketebalan pecahan sangat penting untuk ditentukan. Hal ini nantinya akan dikaitkan dengan jumlah lipid yang terbaca oleh GC/MS. Pada umumnya melalui proses tafonomi, kadar lipid dalam tembikar hanya tersisa dalam jumlah yang kecil (seringkali < 1 mg/g) (Evershed *et al.* 1991, 191 ; Stacey 2009, 5). Untuk mengantisipasi hal tersebut, sampel tembikar dalam ukuran pecahan yang cukup besar. Ukuran pecahan yang lebih besar ini juga dapat membuat jumlah bubuk yang diambil lebih homogen, dalam arti semua sampel memiliki berat bubuk yang sama.

Tabel 1. Daftar Sampel Tembikar Yang Diambil Untuk Analisis Lipid (Sumber: Wibowo 2019)

No. Sampel	Nama Situs	Bentuk Pecahan	Asal Dan Kedalaman (Dari DP)	Regio Pengambilan	Dimensi Kerusakan	Kedalaman Kerusakan	Warna Bubuk
01/2019	ABH	Tepian	TP3/spit(3) - 40cm	Internal	3,5 x 2 cm	0,3 mm	10 YR 7/2
02/2019	ABH	Badan	TP1/spit(3) - 60cm	Internal	2,3 x 1,2 cm	0,4 mm	7.5 YR 7.1
03/2019	ABH	Badan	E3/1 - 30 cm	Internal	2,4 x 1,3 cm	0,2 mm	10 YR 8/2
04/2019	ABH	Badan	TP2/3 - 60cm	Internal	2,5 x 2,4 cm	0,3 mm	10 YR 6/3
05/2019	ABH	Tepian	E2/6 -77cm	Internal	2,8 x 1,3 cm	0,3 mm	10 YR 7/2

3.2 Aplikasi Kimia Analitik pada Arkeologi

GC/MS merupakan metode yang kerap digunakan dalam konteks forensik, seperti identifikasi obat-obatan terlarang, kandungan bahan bakar, dan identifikasi unsur kimia yang merusak lingkungan (Rao 2012, 10; Lappas and Lappas 2016, 56). Dalam ilmu arkeologi, GC/MS adalah metode yang sering digunakan untuk mengidentifikasi unsur organik yang tertinggal pada artefak, seperti makromolekul berupa protein, lipid, karbohidrat, dan senyawa kimia lainnya (Fankhauser 1994, 231; Malainey *et al.* 1994, 167; Barnard, Dooley, and Faull 2007, 216).

Lipid adalah berbagai macam kelompok molekul alami yang meliputi lemak, lilin, sterol, vitamin yang larut dalam lemak (misalnya vitamin A, D, E, dan K), monogliserida, digliserida, trigliserida, dan fosfolipid. Fungsi utama lipid dalam menyimpan energi dan bertindak sebagai komponen pembangun membran sel (Fankhauser 1994, 232; Colombini and Modugno 2009, 191). Lipid terbagi atas tiga grup besar, yaitu (a) lipid sederhana, seperti lemak, minyak, dan getah; (b) lipid kompleks,

seperti fosfolipid dan glikolipid; dan (c) lipid turunan, seperti kolesterol, steroid, dan vitamin (Sutton, Sobolik, and Gardner 2010, 63). Mamalia, termasuk manusia, memiliki jalur biosintesis untuk memecah dan menyintesis lipid. Walaupun demikian, beberapa lipid esensial tidak dapat dibuat dengan cara ini, tetapi harus melalui makanan. Sebagai contoh, manusia memerlukan lemak yang ditemukan dalam makanan dalam bentuk asam linoleat dan asam alfa-linoleat yang tidak dapat disintesis dari prekursor sederhana dalam makanan. Kedua jenis asam ini dapat diperoleh dari minyak yang berasal dari tumbuhan, seperti jagung dan bunga matahari, atau tanaman kacang-kacangan (Ohlrogge and Browse 1995, 957).

Dalam kajian arkeologi, analisis lipid dilakukan untuk melihat jenis, karakter, dan komposisi lipid. Tujuannya adalah untuk menentukan diet yang berhubungan dengan nutrisi dan kesehatan pada suatu populasi pada masa lampau (Sutton, Sobolik, and Gardner 2010, 1). Menurut Evershed (1992, 189), dalam menganalisis lipid ada beberapa tingkat sebagai berikut:

a. Studi Karakterisasi

Studi ini ditujukan untuk membuat karakterisasi lipid melalui bahan makanan kontemporer dengan membandingkan karakter lipid pada masa sekarang dengan karakter lipid yang ditemukan pada konteks arkeologi.

b. Studi Diagenetik dan Degradasi Lipid

Studi dilakukan dengan melihat bagaimana sisa residu dalam proses tafonomis serta efek pengendapan terhadap perubahan lipid dari residu yang diperoleh dari artefak.

c. Eksperimen Memasak

Studi ini dilakukan dengan melihat bagaimana proses memasak meninggalkan residu organik, baik berupa lipid maupun protein.

Dengan mencermati jenis, karakter, dan komposisi lipid dapat diketahui bagaimana masyarakat masa lampau memanfaatkan sumber daya alam. Mengingat berbagai jenis minyak dari tanaman atau hewan banyak digunakan untuk memasak, pencahayaan/penerangan (lampu minyak), bahan baku untuk makanan, pengobatan, dan kebutuhan sehari-hari (Colombini and Modugno 2009, 192). Meskipun demikian, dalam arkeologi, khususnya studi tentang residu makanan yang diperoleh dari dinding tembikar, berbagai macam tema juga berkembang dalam studi lipid.

3.3 Proses Persiapan Sampel Tembikar untuk GC/MS dan Database Sampel

Penyiapan sampel tembikar untuk analisis residu organik dengan menggunakan GC/MS mulai dilakukan sebelum ekskavasi. Hal yang perlu dilakukan adalah merekam dimensi ruang dari temuan yang terdapat di kotak gali dan pengambilan sampel dengan hati-hati. Fragmen tembikar yang akan dijadikan sampel dibungkus dengan alumunium foil untuk meminimalisasi kontak dan kontaminasi dari luar.

Dari sepuluh sampel tembikar dibuat daftar sampel (*database*) yang dianalisis untuk mengetahui status sampel tersebut. *Database* ini penting untuk memudahkan pengolahan hasil bacaan GC/MS. Salah satu hal yang perlu dituliskan kembali dalam *database* analisis sampel (lihat Tabel 1) adalah status kerusakan. Hal itu diperlukan karena analisis dengan menggunakan GC/MS sifatnya destruktif/infasif. Pencatatan kerusakan merupakan bentuk pertanggungjawaban setiap kegiatan atau kinerja arkeologi.

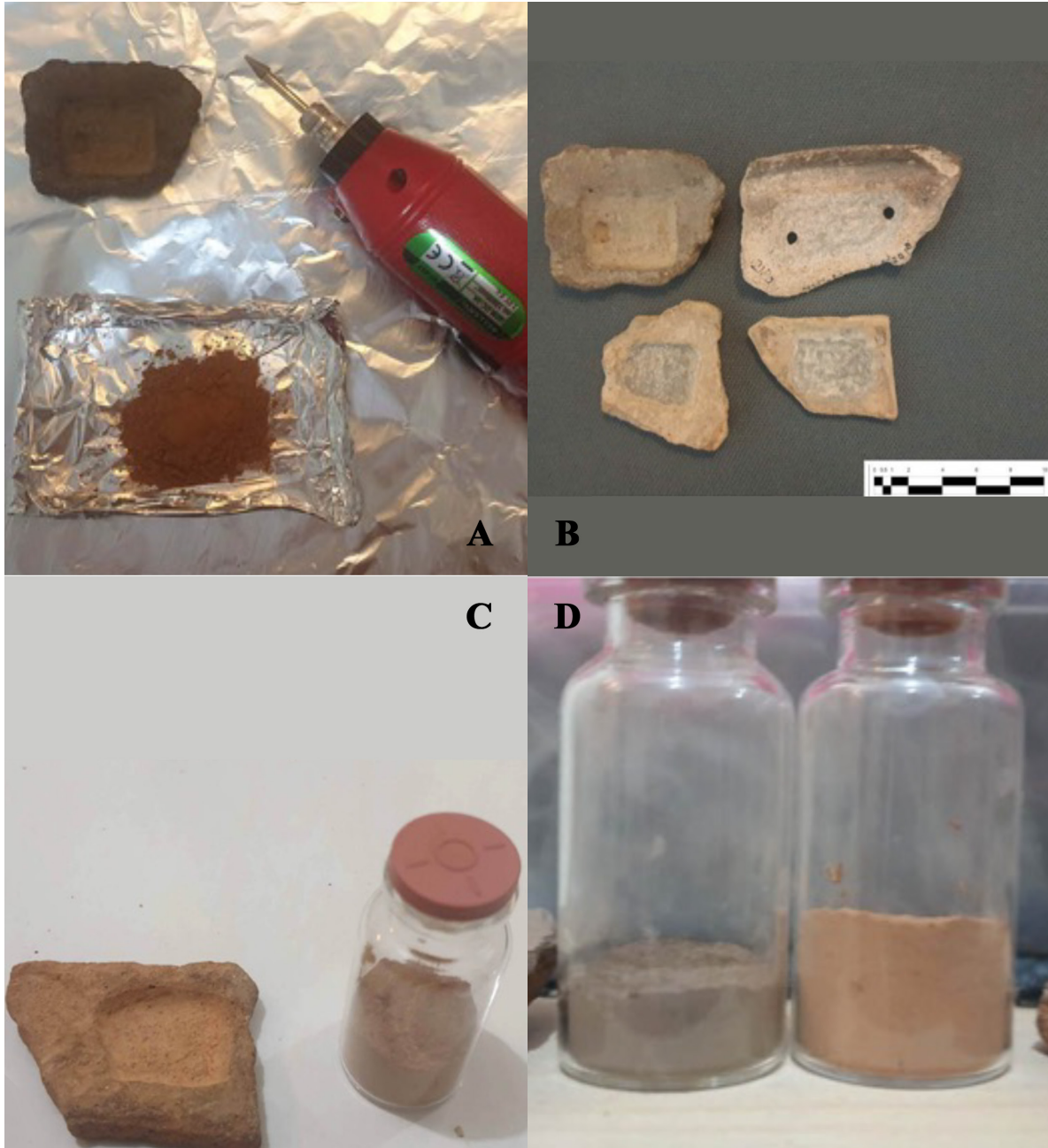
3.4 Pengambilan Sampel dari Tembikar

Pengambilan sampel bagian tembikar dilakukan dengan menggunakan *hand-drill portable* dengan kecepatan 10.000 rpm. Mata bor untuk pengambilan sampel ada tiga jenis, yakni mata berulir, mata yang tajam, dan yang mata bor bulat (Gambar 2. A).

Mata bor berulir dan berujung tajam digunakan untuk memperdalam area pengambilan sampel, sedangkan mata bor bulat untuk menghaluskan area pengambilan sampel dan membersihkan permukaan sebelum dirusak. Sebelum pengambilan sampel pada tembikar dari situs MJB/ABH/2018, juga dilakukan trial pengambilan sampel pada tembikar modern. Hal itu dilakukan untuk mengetahui berapa lama waktu untuk pemerolehan sampel dan mata bor yang paling efektif dan efisien dalam pengumpulan sampel.

Dalam pengambilan sampel diperlukan alas, baik dari kertas maupun alumunium foil. Kertas/alumunium foil diperlukan agar sampel yang berupa bubuk tidak bercampur. Bubuk itu berupa homogenitas sebesar 5 gram per sampel (Gambar 2A).

Proses pengambilan sampel ini makan waktu sekitar 1—2 jam. Perlu dijelaskan bahwa pengambilan sampel tidak dilakukan dengan cara ditumbuk karena belum tentu



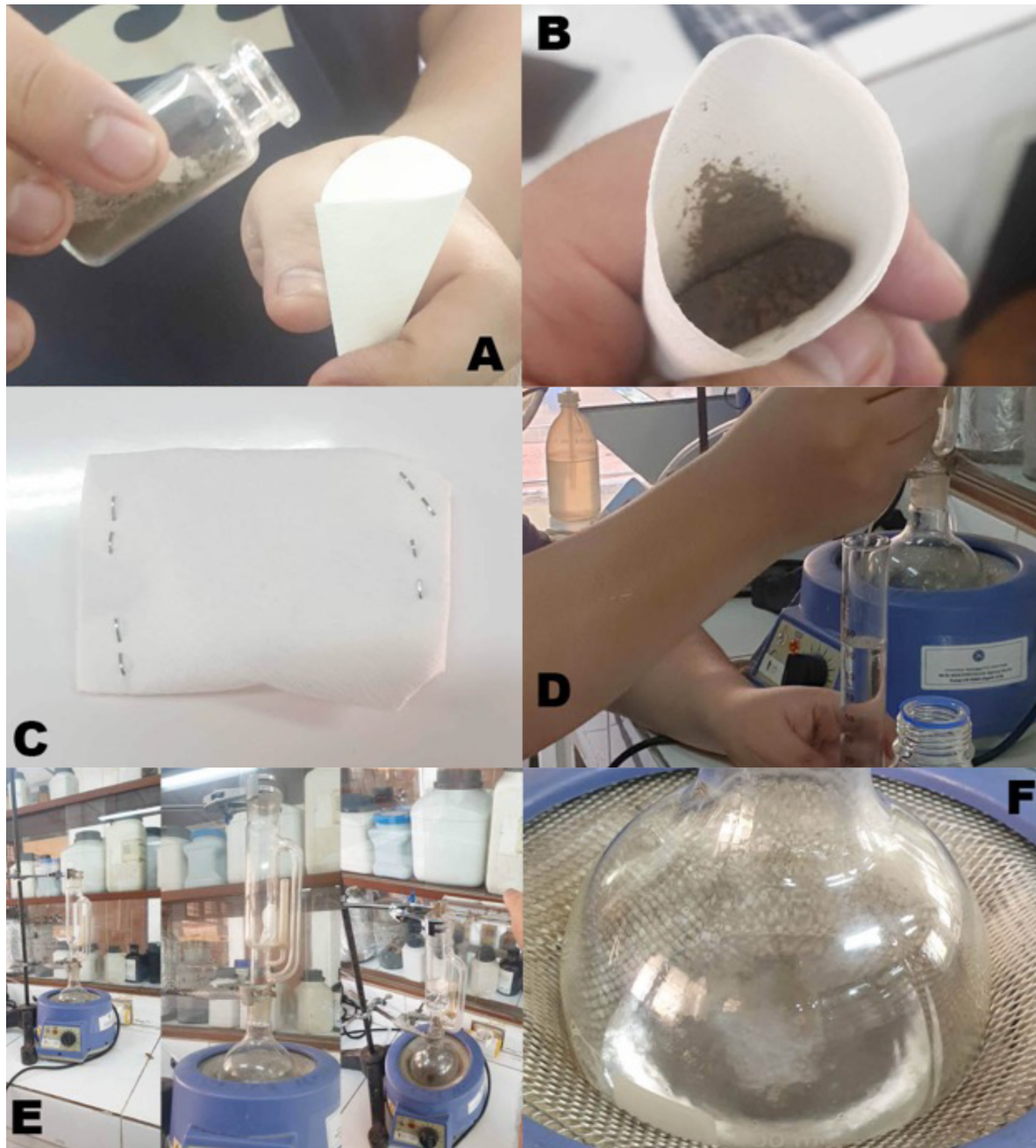
Gambar 2. (A) pengambilan sampel bubuk, (B) area pengambilan sampel, (C) penyimpanan sampel dalam bentuk bubuk, dan (D) penyimpanan sampel bubuk pada botol vial 150ml (Sumber: Wibowo & Ardiansyah 2019).

bubuk tersebut sangat halus sementara dalam ekstraksi diperlukan sampel bubuk yang sehalus mungkin. Walaupun proses pengerjaannya lebih lama, penggunaan *hand-drill* akan menghasilkan bubuk yang lebih halus daripada dengan cara ditumbuk.

Kecepatan *hand-drill* yang digunakan sebesar 10.000 rpm bertenaga listrik sebab sampelnya berupa tembikar, bukan keramik

berbahan dasar kaolin atau batuan yang tingkat kekerasannya melebihi kekerasan tembikar. Karakteristik bahan ini harus dipertimbangkan untuk menentukan kecepatan *hand-drill* dan terhindar dari kerusakan sampel.

Perlu dicatat pula bahwa pengambilan sampel bubuk tembikar harus dilakukan di ruang tertutup dan tidak berangin

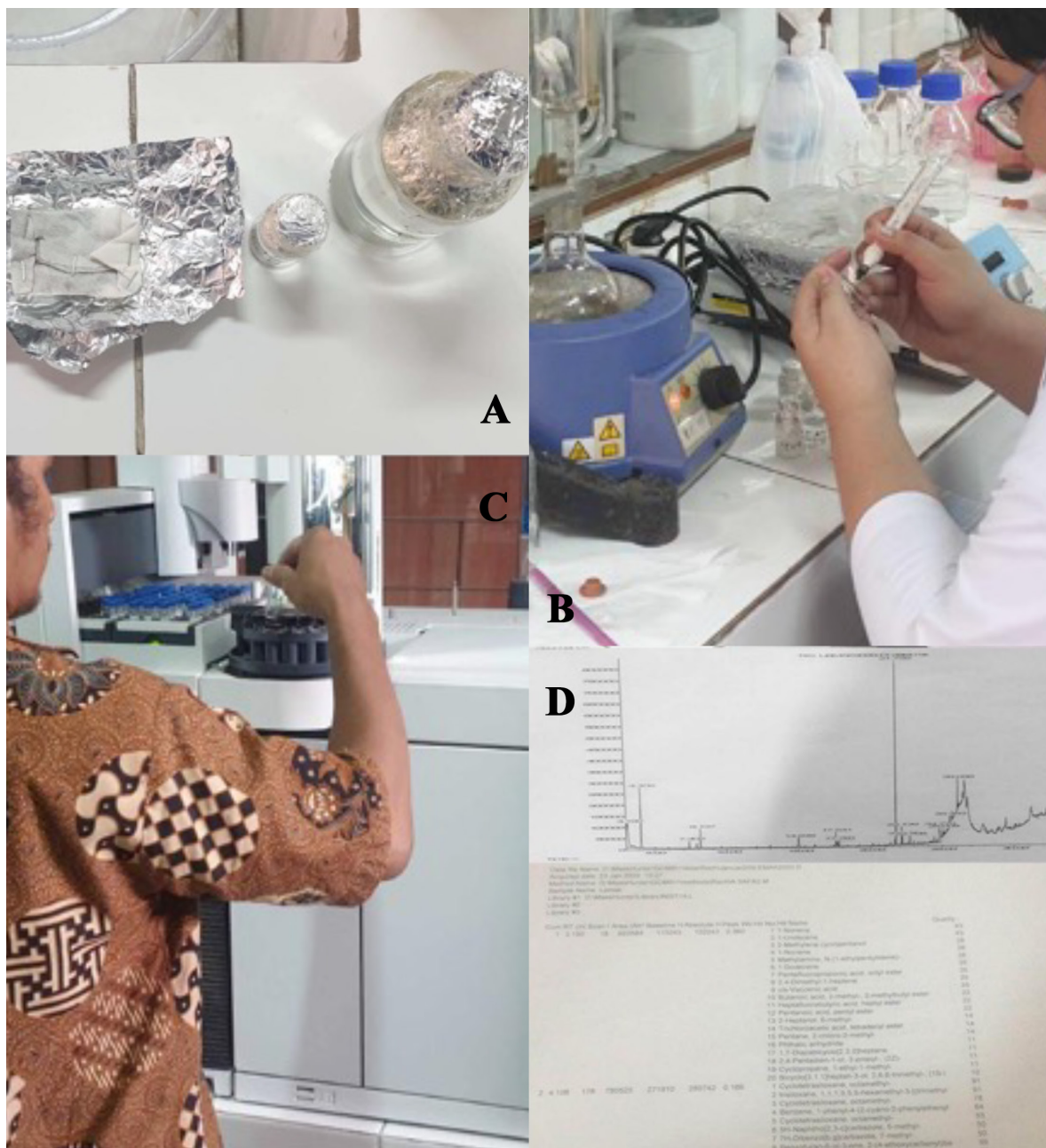


Gambar 3. (A), (B), dan (C) merupakan proses pemindahan sampel bubuk ke dalam kertas penyaring sebelum diletakan pada labu didih, (D) proses penakaran cairan pelarut ke dalam tabung pengukur, (E) instalasi alat soxhletasi, (F) labu didih (Sumber: Wibowo & Ardiansyah, 2019)

karena bubuk yang sangat halus sangat mudah terembus angin. Sampel yang telah diperoleh, lalu ditimbang dengan berat yang sama untuk setiap sampel. Setelah itu, sampel dipindahkan ke dalam botol vial berukuran 150 ml berbahan kaca yang sudah disterilisasi dengan aquades/*detergent* (Gambar 2C-D).

3.5 Proses Ekstraksi/Isolasi Lipid dari Sampel Tembikar

Ekstraksi lipid dilakukan di laboratorium kimia organik FST Universitas Airlangga dengan memberikan cairan pelarut berupa kloroform dan metanol, dengan perbandingan 2:1. Artinya, untuk setiap 5 gram sampel diperlukan 200 ml kloroform dan 100 ml



Gambar 4. (A) sampel bubuk yang telah di ekstraksi, (B) pemberian label pada botol sampel yang akan dianalisis dengan GC/MS, (C) GC/MS Milik FST, Departemen Kimia, Universitas Airlangga, (D) Hasil bacaan GC/MS terhadap salah satu sampel (Sumber: Wibowo & Ardiansyah, 2019)

metanol. Pada proses ekstraksi penting diketahui karakter senyawa yang akan diidentifikasi. Lipid merupakan senyawa yang sifatnya organik, maka diperlukan pelarut polar yang sifatnya kompatibel dengan senyawa organik yang akan diisolasi, yaitu klorofom dan metanol (Evershed *et al.* 1991, 191).

Ekstraksi dapat dilakukan dengan berbagai macam alat dan teknik. Teknik

yang paling umum adalah sentrifugasi. Namun, proses ekstraksi lipid dalam tulisan ini merujuk pada prosedur *evershed* yang menyarankan untuk jumlah sampel yang sedikit lebih baik dilakukan dengan *soxhletasi*. Teknik *soxhletasi* adalah proses ekstraksi untuk pemisahan suatu komponen dalam zat padat dengan cara penyaringan berulang-ulang dengan menggunakan pelarut tertentu (dalam

kasus ini kloroform dan metanol). Tujuannya adalah agar komponen yang diinginkan (lipid) akan terisolasi.

Dalam pelaksanaan *soxhletasi*, sampel bubuk dipindahkan ke dalam kertas penyaring berbahan lentur dan dapat direndam dalam cairan untuk waktu yang lama tanpa merusak material kertas (Gambar 3A, B, dan C). Setelah itu, sampel dipindahkan ke dalam labu didih untuk melakukan ekstraksi (Gambar 3F). Sampel direndam dengan cairan pelarut berupa 200 ml kloroform dan 100 ml metanol (Gambar 3D dan 3E). Pelaksanaan *soxhletasi* untuk satu sampel dilakukan dengan durasi tiga jam agar komponen yang diisolasi terekstraksi secara sempurna. Setelah diekstraksi, sampel yang sudah berupa cairan bening dipindahkan ke wadah, kemudian dianalisis dengan metode GC/MS.

3.6 Pembahasan

Hasil GC/MS terhadap fragmen tembikar memperlihatkan keragaman senyawa yang terbaca tidak hanya terbatas pada senyawa lipid. Identifikasi senyawa yang sifatnya organik dan berasal dari alam sekitar menghasilkan 13 jenis senyawa, 8 di antaranya merupakan lipid yang termasuk ke dalam kategori lemak hewani dan lemak nabati. Secara lengkap 13 senyawa organik tersebut dapat dilihat pada tabel 2.

Senyawa hewani yang dapat diidentifikasi dari hasil pembacaan GC/MS adalah *butanoic acid*, *heptafluorobutyric acid*, dan *dibenzo*. *Butanoic acid* dan *heptafluorobutyric acid* merupakan lemak jenuh yang berasal dari susu (atau produk turunannya, seperti keju dan mentega) famili *bovine*, sedangkan *dibenzo* merupakan senyawa kimia yang berasal dari daging, ikan, atau kerang-kerangan. *Butanoic acid* dan *heptafluorobutyric acid* adalah penghasil *glycerol*, salah satu komponen penyusun *trigliserida* yang ditemukan pada lemak hewan (Gunstone and Herslöf 2004). Keduanya merupakan molekul dalam tubuh

mahluk hidup yang sering disebut sebagai lemak dan diperoleh dari hewan darat, sedangkan lemak tak jenuh berasal dari ikan atau tumbuhan (W and Han 2010, 5).

Dari kelompok senyawa nabati diperoleh dua jenis lemak dan dua jenis senyawa kimia organik. Senyawa nabati yang ditemukan adalah *cis-Vaccenic acid* yang berasal dari famili kacang-kacangan; *pentanoic acid* berasal dari akar tumbuhan; *valeriana* dan *benzofuran* dari famili seledri, famili buah ara, dan keluarga jeruk; serta *dihydroxyacetophenone* berasal dari tumbuh-tumbuhan. Senyawa *vaccenic acid* adalah jenis lemak yang termasuk golongan asam lemak jenuh. Pada produk modern, jenis asam lemak ini ditemui dalam susu sebagai produk kacang, seperti susu kedelai, susu almond, dan sejenisnya (Gunstone and Herslöf 2004, 229). Dalam katalog GC/MS *peak* untuk *vaccenic acid* terbaca sebesar 25%. Sedangkan senyawa organik yang ditemukan adalah *pentanoic acid* dan *benzofuran*. *Pentanoic acid* adalah senyawa organik yang berasal dari akar tanaman *Valeriana*. Tanaman ini terkenal sebagai tanaman herbal untuk pengobatan. *Benzofuran* adalah salah satu senyawa organik yang memiliki bau khas. *Benzofuran* secara biokimia diproses oleh tumbuhan yang mengandungnya sehingga terjadi reaksi yang memunculkan aroma citrus (jeruk) yang dinamai *psoralen*. Senyawa ini kerap digunakan sebagai racun ikan karena merupakan turunan senyawa alami *furanocoumarin* yang sangat berbahaya untuk ikan (Rappoport 1980, 35).

Selain senyawa lipid, senyawa organik lain juga terbaca melalui GC/MS, yaitu *pentafluoropropionic acid*, *trichloroacetic acid*, *cyclotetrasiloxane*, *trixilasane*, *benzane*, dan *naphto*, yang sebagian besar berasal dari hasil bakaran yang mengandung racun (Rappoport 1980, 36). Keseluruhan senyawa tersebut kemungkinan meresap pada

permukaan tembikar sebagai akibat padatnya aktivitas membuka lahan dan ladang oleh warga setempat.

Berdasarkan katalog senyawa molekul organik yang menjelaskan jenis, fungsi, dan asal senyawa yang dikaitkan dengan bentuk wadah dan pengambilan sampel dari dasar

wadah, interpretasi awal adalah wadah tersebut memiliki fungsi sebagai wadah untuk memasak. Namun, untuk memastikan lebih jauh diperlukan lebih banyak sampel sebagai objek penelitian. Hal ini juga disebabkan oleh jumlah *peak* yang terbaca pada mesin menunjukkan angka yang kecil sehingga

Tabel 2. Daftar Senyawa dan Unsur Organik (Sumber: Ardiansyah 2019)

No	Nama Biomolekul	Jenis	Intensitas	Kategori	Asal Biomolekul	Fungsi
1	<i>Butanoic acid</i>	Asam lemak	22	hewani	Susu, famili bovine	Penghasil glycerol
2	<i>Pentafluoropropionic acid</i>	Senyawa kimia	35	organik (air hujan, asap)	Kebakaran, banjir	toksik
3	<i>cis-Vaccenic acid</i>	Asam lemak	25	nabati	Famili kacang-kacangan	Penghasil glycerol
4	<i>Heptafluorobutyric acid</i>	Asam lemak	22	hewani	Susu, famili bovine	Penghasil glycerol
5	<i>Trichloroacetic acid</i>	Asam asetat	14	organik	Bakteri pada tanah, Clostridium acetobutylicum	Zat pengawet
6	<i>Pentanoic acid</i>	Asam lemak	22	nabati	Akar tumbuhan, famili Valerianae	Obat
7	<i>Dibenzo</i>	Senyawa kimia	50	hewani	Daging, ikan, dan kerang-kerangan	Penghasil glycerol
8	<i>Benzofuran</i>	Senyawa kimia	39	nabati	Keluarga seledri, keluarga buah ara, keluarga jeruk	Racun ikan
9	<i>Dihydroxyacetophenone</i>	Senyawa kimia	39	nabati	Tumbuhan	Agen pemberi rasa
10	<i>Cyclotetrasiloxane</i>	Senyawa kimia	91	organik (tanah)	Hasil bakaran	toksik
11	<i>Trisiloxane</i>	Senyawa kimia	91	organik (tanah)	Pestisida	toksik
12	<i>Benzene</i>	Senyawa kimia	64	organik (tanah)	Hasil bakaran	toksik
13	<i>Napthol</i>	Senyawa kimia	50	organik (tanah)	Hasil bakaran	Indikator paparan PAH pada mahluk hidup

membutuhkan perhatian khusus dalam penarikan simpulan akhir mengenai fungsi wadah tembikar tersebut.

Senyawa yang sifatnya organik ini berasal dari alam sekitar dan kemungkinan bukan merupakan senyawa modern karena residu yang menempel pada sampel tembikar diambil dari bagian dalam wadah. Hal ini diperkuat oleh hasil survei geologi terhadap endapan di area survei dan ekskavasi (Gambar 5). Dalam area survei ekskavasi arkeologi telah ditentukan batas lokasi yang masuk grid penggalian. Tahap awal survei area ekskavasi ini memperlihatkan bahwa batas selatan grid ekskavasi berbatasan langsung dengan sumur. Sumur ini memiliki kedalaman 2,4 m dengan diameter 108 cm. Keberadaannya terletak dekat DP (*datum point*) selatan atau cenderung di pojok barat daya. Akan tetapi, pada sumur hanya terlihat dua lapis horizon saja, yaitu O dan A. Dalam hal ini, tidak ditemui tanda-tanda yang menunjukkan lapisan *parent rock*, yaitu (a) tidak terdapat material batuan berukuran *pebble*, *cobble*, atau gejala singkapan (*no large rocks appear*) dan (b) pelapukan masih terus berlangsung hingga kedalaman terbawah (240 cm) mineral masih sama dengan lapisan atasnya.

Sebagaimana diketahui, pada profil horizon tanah terdapat horizon O (humus) dengan kedalaman 0 – 35 cm dari atas permukaan sumur, *topsoil* lanau (horizon A) pada kedalaman 35 – 62 cm dari atas permukaan sumur, *topsoil* pasir halus (horizon A) pada kedalaman 62 – 96 cm dari atas permukaan sumur, dan *topsoil* lempung pada sumur terletak pada kedalaman 183 – 240 cm dari atas permukaan sumur.

Pengorelasian data pada sumur area survei dengan kotak gali di sekitar area ekskavasi memiliki hubungan yang sesuai. Hal tersebut terlihat berdasarkan sifat pengendapan pada area yang relatif *coarse-fine-coarse*

soil gradation. Perselingan material tersebut merupakan ciri endapan banjir. Karena perselingan pengendapan tersebut, secara periodik (puluhan atau ratusan tahun) lingkungan tersebut merupakan dataran banjir dengan sumber luapan berasal dari Sungai Batanghari. Berdasarkan hasil survei, fragmen tembikar yang ditemukan di area survei dan ekskavasi bukan fragmen yang terbawa dari tempat lain ke lokasi yang ditemukan saat ini. Proses tafonomi yang terjadi adalah *cultural taphonomy* yang disebabkan oleh adanya aktivitas berkebun oleh masyarakat sehingga fragmen yang semula berada di dalam tanah terangkat ke permukaan.

Untuk mengetahui bahwa residu pada tinggalan arkeologi merupakan residu dari masa lalu atau bukan juga dapat dideteksi dari hasil bacaan GC/MS, yaitu dengan memperhatikan ada atau tidaknya senyawa hasil kontaminasi yang berasal dari bakteri tanah ataupun mikroorganisme lainnya pada hasil bacaan. Biomarker untuk senyawa kontaminasi paling utama dalam penelitian arkeologi yang seringkali muncul adalah *squalene*, yaitu komponen lipid yang berasal dari sidik jari manusia. Untuk biomarker bakteri dan mikroorganisme yang merupakan bagian dari komponen asam lemak tampak pada grup *-iso* dan *-anteiso* C₁₅ dan C₁₇ (Evershed 1993, 88). Berdasarkan hasil spektrum GC/MS, kelompok ketiga residu organik tersebut tidak muncul pada spektrum pembacaan sehingga dapat disimpulkan bahwa sampel tembikar tersebut tidak terkontaminasi oleh zat apa pun.

Informasi lain yang diperoleh dari hasil analisis residu pada sampel tembikar dari Sektor ABH adalah mengenai senyawa hasil bakaran juga ditemukan dari hasil pembacaan GC/MS. Senyawa ini dapat dikaitkan dengan penggunaan api untuk memasak bahan makanan, sekaligus adanya aktivitas manusia yang melakukan pembakaran lahan di area



Gambar 5. (a), (b), (c), dan (d) survei endapan di area survei dan ekskavasi
(Sumber: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, 2018)

ditemukannya fragmen tembikar tersebut. Pada kotak E2 di kedalaman -48 cm dari DP ditemukan sebaran arang di sisi timur kotak gali dan masih ditemukan pada kedalaman -58 cm dari DP di sisi barat laut kotak gali. Pada kotak E3 sisa-sisa arang juga ditemukan mulai di kedalaman -45 cm dari DP hingga -82 cm dari DP. Hingga saat ini aktivitas membakar lahan masih dilakukan oleh masyarakat ketika masa panen telah selesai. Oleh karena itu, sangat besar kemungkinan sisa-sisa arang yang ditemukan adalah sisa-sisa aktivitas pembakaran lahan yang kemudian teraduk dan bercampur dengan tanah.

4. Kesimpulan

Laboratorium kimia pada Fakultas MIPA pada umumnya sudah menyediakan jasa analisis untuk umum dengan beragam kriteria sampel yang perlu dipersiapkan secara mandiri. Oleh karena itu, para peneliti di bidang arkeologi perlu mengetahui langkah kerja dalam menyiapkan sampel sebelum diserahkan kepada analis di laboratorium kimia.

Hasil analisis terhadap beberapa sampel tembikar dari Sektor ABH terdapat senyawa lipid dan senyawa organik dari sisa pembakaran yang tertinggal pada bagian-bagian tembikar. Hasil pembacaan melalui mesin GC/MS memperlihatkan bahwa senyawa lipid yang terbaca merupakan senyawa hewani dan nabati, dan beberapa sumbernya berasal dari famili *bovine*, ikan, serta kerang-kerangan sebagai penghasil *glycerol*. Demikian pula halnya dengan senyawa nabati yang ditemukan bahwa senyawa tersebut juga penghasil *glycerol* dan agen pemberi rasa pada makanan. Asumsi terhadap fungsi fragmen tembikar ini pada masa lalu paling tidak digunakan sebagai wadah atau perangkat memasak. Jenis lemak hewani dan nabati yang ditemukan merupakan kelompok lemak turunan yang perlu diolah. Ada juga beragam

senyawa yang ditemukan dalam satu sampel yang dianalisis. Dengan demikian, dapat diasumsikan bahwa sebagai wadah memasak, tembikar tersebut juga digunakan untuk mengolah berbagai macam bahan dari hewan darat, air, dan tumbuh-tumbuhan.

Perlu ditekankan bahwa sampel yang diuji merupakan sampel kecil dalam lingkup area penelitian yang terbatas di Sektor ABH Kawasan Percandian Muarajambi. Hasil analisis ini tidak dapat digeneralisasikan mengenai fungsi tembikar yang ditemukan di lokasi lain di luar Kawasan Percandian Muarajambi. Selanjutnya, diperlukan adanya analisis komparatif dengan karakteristik lingkungan sekitar situs untuk memperoleh hasil yang lebih komprehensif terhadap karakter situs, baik pada masa lampau maupun masa sekarang.

Interpretasi tidak dapat dilakukan semata-mata pada hasil bacaan mesin GC/MS karena dalam mengidentifikasi kecocokan suatu senyawa organik sangat bergantung pada database senyawa dalam setiap GC/MS. Sebagai contoh, dalam GC/MS terbaca hasil senyawa yang mirip dengan karakter trigliserida sebesar 78% pada *peak* menit kelima saat mesin melakukan analisis. Karakter lipid trigliserida sebesar 78% ini memiliki makna tertentu yang dapat diinterpretasikan oleh analis/teknisi GC/MS sendiri. Hasil interpretasi inilah yang perlu diolah kembali. Pada prinsipnya hal atau data yang dibaca oleh mesin analisis memiliki bias yang tinggi jika tidak dikembalikan secara hati-hati dalam konteks arkeologis.

Ucapan Terima Kasih

Penyusunan artikel ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Pada kesempatan ini kami ucapkan terima kasih yang tulus kepada Direktur Direktorat Pelestarian Cagar Budaya dan Permuseuman, Kementerian Pendidikan

dan Kebudayaan yang telah memberikan dukungan hingga kegiatan Peningkatan Ketrampilan dan Wawasan Mahasiswa Program Studi Arkeologi di Kawasan Percandian Muarajambi tahun 2018 dapat terlaksana. Berikutnya kami juga menyampaikan ucapan terima kasih kepada para pengajar dan peserta kegiatan dari Departemen Arkeologi FIB UI dan Departemen Geologi FMIPA UI atas perhatian dan kerja sama yang baik selama kegiatan berlangsung. Ucapan terima kasih yang sama juga kami tujukan kepada Kepala Laboratorium Kimia Organik FST, Universitas Airlangga, yang telah menyediakan fasilitas untuk mengekstraksi sampel hingga pembacaan GC/MS sehingga artikel ini dapat diselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

- Barnard, Hans, AN Dooley, and KF Faull. 2007. "An Introduction to Archaeological Lipid Analysis by Combined Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC/MS)." *Theory and Practice of Archaeological Residue Analysis*, No. 2: 1–2. http://www.archbase.org/residue/samples/Sample_Chapter05.pdf.
- Bowdery, Doreen. 2001. "Phytolith and Starch Data from An Obsidian Tool Excavated at Bitokara, New Britain Province, Papua New Guinea." *Phytoliths - Applications in Earth Science and Human History*. <https://doi.org/10.1201/noe9058093455.ch17>.
- Colombini, Maria Perla, and Francesca Modugno. 2009. "Organic Mass Spectrometry" in *Art and Archaeology*. United Kingdom: John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470741917>.
- Crowther, Alison. 2005. "Starch Residues on Undecorated Lapita Pottery from Anir, New Ireland." *Archaeology in Oceania* 40 (2): 62–66. <https://doi.org/10.1002/j.1834-4453.2005.tb00586.x>.
- Evershed, R. P. 1993. "Biomolecular Archaeology and Lipids." *World Archaeology* 25 (1): 74–93. <https://doi.org/10.1080/00438243.1993.9980229>.
- Evershed, R P, C Heron, S Charters, and LJ Goad. 1991. "The Survival of Food Residues: New Methods of Analysis, Interpretation and Application." *Proceedings of the British Academy The British Academy* 77 (February 1991): 187–208.
- Fajari, N.M.E. 2009. "Analisis Fitolit (Phytolith Analysis) pada Residu Artefak Tulang Situs Song Blendrong. Pdf." *Naditira Widya* 3 (2): 145–58.
- Fankhauser, Barry. 1994. "Protein and Lipid Analysis of Food Residues." In *Tropical Archaeobotany, Applications and New Developments*, edited by Jon G Hather, 227–50.
- Gunstone, Frank D. and Bengt G. Herslöf. 2004. *Lipid Glossary* Vol.2. England: The Oily Press. <https://doi.org/10.1533/9780857097972>.
- Lappas, Nicholas T. and Courtney M. Lappas. 2016. *Forensic Toxicology: Principles and Concepts*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-12723-7>.
- Malainey, Mary E., Gregory Monks, R Buss, F Suffridge, and A. Malof. 1994. "Fatty Acid Analysis of Archaeological Residues: Procedures and Possibilities." In *Theory and Practice of Archaeological Residue Analysis*, 1–2.
- Ohlrogge, John and John Browse. 1995. "Lipid Biosynthesis." *The Plant Cell* 7 (July): 957–70. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.02444-2>.
- Orton, Clive, and Michael Hughes. 2013. *Pottery in Archaeology*. 2nd Editio. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511920066>.
- Rangkuti, Nurhadi., Inge Pojoh, Naniek Harkantiningih. 2008. *Buku Panduan Analisis Keramik*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Arkeologi Nasional, Badan Pengembangan Sumberdaya Kebudayaan dan Pariwisata. Departemen Kebudayaan dan Pariwisata.
- Rao, Kalipatnapu N. 2012. *Forensic Toxicology (Medico-Legal Case Studies)*. CRC Press.
- Rappoport, Zvi. 1980. *Handbook of Tables for Organic Compound Identification*. 3rd Editio. CRC Press.
- Rice, Prudence M. 2005. *Pottery Analysis: A Sourcebook*. The University of Chicago Press.
- Sharer, Robert J. and Wendy Ashmore. 2003. *Archaeology, Discovering Our Past*.

- 3rd Editio. Unites States of America: McGraw Hill. <http://www.loc.gov/catdir/toc/mh031/2002107632.html%5Cnhttp://www.loc.gov/catdir/description/mh024/2002107632.html>.
- Shepard, Anna O. 1985. *Ceramics for the Archaeologist*. 5th Editio. Ann Arbor: Braun-Brumfield Inc. <https://doi.org/10.2307/3887225>.
- Stacey, R J. 2009. "Organic Residues: Origins, Analysis, and Scope - An Overview for The Archaeological Ceramicist." *The Old Potter's Almanack* 14 (1).
- Sutton, Mark Q, Kristin D Sobolik, and Jill K Gardner. 2010. *Paleonutrition*. Arizona: The University of Arizona Press. <https://doi.org/10.16309/j.cnki.issn.1007-1776.2003.03.004>.
- W, William Christie and Xian Lin Han. 2010. *Lipid Analysis (Isolation, Separation, Identification and Lipidomic Analysis)*. New Delhi: Woodhead Publishing