



BAB 24

PEMANFAATAN TEKNOLOGI PERANGKAT LUNAK *RHINOCEROS*, *INDUCTIVELY COUPLED MASS SPECTROMETRY*, DAN *THERMOLUMINESCENCE* DALAM PENELITIAN ARKEOLOGI: STUDI KASUS ANALISIS FRAGMEN TEMBIKAR DI LAMPUNG

THE USE OF INDUCTIVELY COUPLED MASS SPECTROMETRY, RHINOCEROS SOFTWARE, AND THERMOLUMINESCENCE IN ARCHAEOLOGY: A CASE STUDY OF SHARDS ANALYSIS IN LAMPUNG

Rusyanti, Adhi Akbar Satrio, & Iwan Setiawan

Abstract

The use of science in archaeology began to emerge in the 1960s which was influenced by the processual archaeology paradigm. Prosesualists emphasize the importance of developing scientific and technological methods in explaining cultural processes. Shards are one of the archaeological objects that can be analyzed through the utilization of technological developments. The use of laboratory technology of inductively coupled mass spectrometry method (ICP-MS), Rhinoceros software, and Thermoluminescence (TL) are three alternatives that can be used comprehensively to acknowledge the research problems regarding the origin of the pottery, the whole-visual shape of the variants, and the chronological range which has not yet been done comprehensively. The use of these methods on Lampung's shards has successfully addressed the research problem, with some technical notes that need to be considered. Historical and anthropological approaches as a middle-range theory can be employed in the last stages to complete the results into a more logical and contextual interpretation.

Keywords: *archaeology, rhinoceros, inductively coupled mass-spectrometry, thermoluminescence dating*

ABSTRAK

Penggunaan ilmu pengetahuan dalam arkeologi mulai muncul pada 1960-an yang dipengaruhi oleh paradigma arkeologi prosesual. Prosesualists menekankan pentingnya mengembangkan

Rusyanti*, Adhi Akbar Satrio, & Iwan Setiawan

* Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), e-mail: rusyanti08@gmail.com.

© 2024 Penerbit BRIN

Rusyanti, "Pemanfaatan teknologi perangkat lunak *Rhinoceros*, *inductively coupled mass spectrometry*, dan *Thermoluminescence* dalam penelitian arkeologi: studi kasus analisis fragmen tembikar di Lampung", dalam *Prosiding seminar nasional arkeologi 2021 "Teknologi di Indonesia dari masa ke masa"*, A. R. Hidayah, L. S. Utami, I. W. Sumerata, I. N. Rema, N. P. E. Juliawati, P. Y. Haribuana, G. Keling, I. A. G. M. Indria, dan N. Arisanti, Ed. Jakarta: Penerbit BRIN, September 2024, bab 24, pp. 417–436, doi: 10.55981/brin.710.c1039, E-ISBN: 978-623-8372-95-9

metode ilmiah dan teknologi dalam menjelaskan proses budaya. Fragmen tembikar adalah salah satu objek arkeologis yang dapat dianalisis melalui pemanfaatan perkembangan teknologi. Penggunaan teknologi *Inductively Coupled Mass Spectrometry* (ICP-MS), *Rhinoceros software*, dan *Thermoluminescence* (TL) merupakan tiga alternatif yang dapat dilakukan dalam menjawab masalah mengenai pengungkapan bentuk tembikar, asal-usul, dan kronologi tembikar yang belum pernah dilakukan secara bersamaan. Penggunaan metode tersebut terhadap analisis tembikar dari Lampung berhasil menjawab permasalahan penelitian dengan beberapa catatan teknis yang perlu diperhatikan. Pendekatan sejarah dan antropologi dapat digunakan pada tahap akhir untuk melengkapi interpretasi yang lebih logis dan kontekstual.

Kata kunci: tembikar, arkeologi, *rhinoceros software*, *inductively coupled mass-spectrometry*, *thermoluminescence dating*

A. PENDAHULUAN

Tembikar merupakan artefak arkeologi yang paling banyak ditemukan, baik pada survei maupun ekskavasi di Lampung. Meskipun demikian, penelitian mengenai tembikar masih fragmentaris atau perkasus dan belum mengungkap permasalahan tiga dimensi arkeologi (bentuk, kronologi, dan asal) secara bersamaan. Tembikar sering kali sebatas temuan penyerta dari artefak lain yang belum mendapat porsi lebih, padahal penelitian tembikar dapat mengungkap permasalahan lainnya yang lebih kompleks, seperti bukti sebaran, bukti pertanggalan, dan bukti fungsi atau status (Wahyudi, 2012).

Penelitian arkeologi di Lampung banyak menemukan fragmen tembikar dari tiga wilayah sungai utama yang belum sepenuhnya dianalisis, diperbandingkan, dan diteliti dinamikanya dalam konteks skala makro. F.G Steck seorang infanteri Belanda menyebut tembikar Lampung didatangkan dari luar, selain beras, garam, besi, tekstil, dan porselin (Amran, 2014). Tembikar yang berasal dari Lampung menjadi permasalahan yang diperdalam dalam penelitian ini. Permasalahan tersebut menjadi menarik karena selain artefak tembikar berjumlah banyak dan tersedia di laboratorium Balai Arkeologi Jawa Barat, kota Lampung juga sering kali dikaitkan sebagai wilayah yang mendapat pengaruh kebudayaan lain, terutama Palembang dan Banten, serta hanya sebagai "konsumen" dari kedua budaya besar tersebut. Posisi Lampung yang mempunyai kekhasannya sendiri dalam konteks kebudayaan material belum banyak dimunculkan.

Fokus tulisan ini adalah memperkenalkan penggunaan metode, konsep dasar, dan cara kerja pemanfaatan teknologi penggambaran dengan digital (*rhinoceros software*), uji laboratorium berlapis (XRF, XRD, ICP-MS), dan uji *thermoluminescence* (termoluminesens, dalam bahasa Indonesia) untuk memecahkan permasalahan bentuk, asal, dan kronologi tembikar yang ditemukan di dua Wilayah Sungai (WS) saja, yaitu WS Seputih-Sekampung dan WS Mesuji-Kabupaten Tulang Bawang, Lampung sekaligus mengklarifikasi pernyataan F.G Steck.

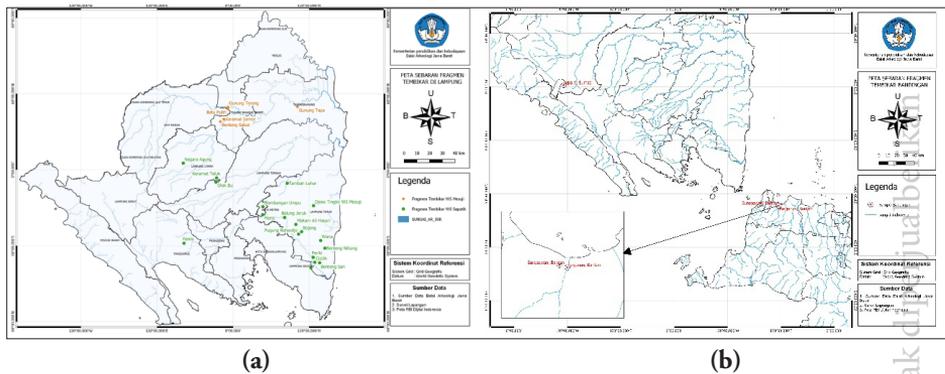
B. METODE

Penelitian *desk study* atau kajian ini menggunakan data artefak tembikar koleksi Laboratorium Balai Arkeologi Jawa Barat yang dilakukan pada tahun 2020—2021. Jumlah sampel yang dianalisis sebanyak 684 fragmen dari total 22 situs yang didapat dari hasil survei situs-situs di Wilayah Sungai (WS) Seputih-Sekampung dan WS Mesuji—Tulang Bawang. Metode yang digunakan adalah *Rhinoceros Software*, *X-Ray Fluorescence (XRF)*, *X-Ray Defraction (XRD)*, *Petrografi*, dan *Inductively Coupled Mass Spectrometry (ICP-MS)* yang dilakukan di Laboratorium Pusat Survei Geologi Bandung (PSG), Activation Laboratories, Kanada, dan *Thermoluminescence* di Laboratorium Oxford Antique Authentication, Inggris.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Gambaran Data

Balai Arkeologi Jawa Barat sejak tahun 1994 telah melakukan penelitian di Lampung yang meliputi kegiatan survei dan ekskavasi. Tembikar yang dianalisis pada penelitian ini sebanyak 684 fragmen dari 22 situs di WS Seputih-Sekampung dan WS Mesuji-Tulang Bawang. Kedua wilayah tersebut termasuk ke dalam dataran rendah Lampung (*lowlands*) dan tiga dari situs bandingan (Tembikar Palembang/Candi Jepara, Surosowan, dan Panjunan) yang dianggap mempunyai kedekatan historis dan lokasional dengan Lampung (Gambar 24.1).



Keterangan: Peta sebaran perolehan tembikar di 22 lokasi di Lampung (a [atas]) dan lokasi tiga sampel bandingan dari Candi Jepara Sumatera Selatan dan artefak tembikar dari Surosowan dan Panjunan (Banten) (b [bawah]).

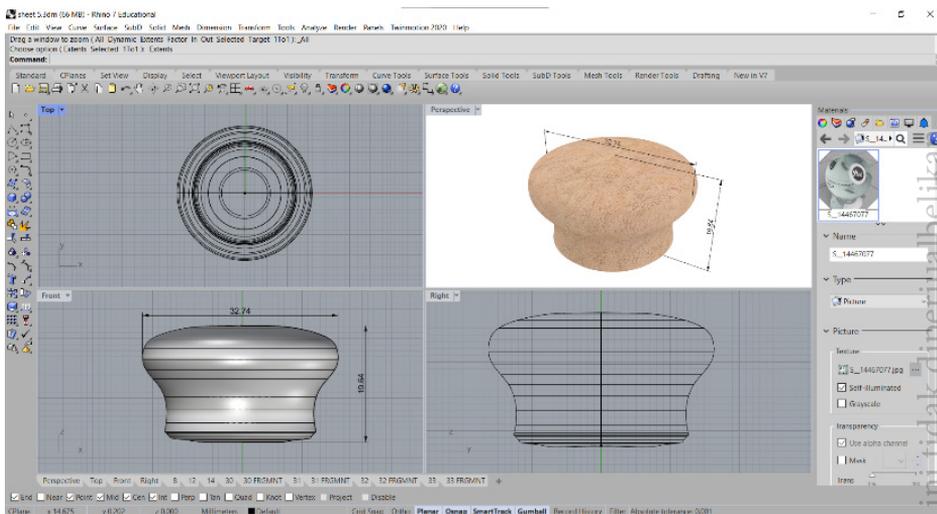
Sumber: Rusyanti et al (2021)

Gambar 24.1 Peta Sebaran Perolehan Tembikar

Sebagian besar situs dengan temuan tembikar di kedua WS telah disinggung di beberapa publikasi oleh Saptono (1995; 2000; 2002; 2001; 2003; 2004), Laili (2007; 2009) dan Triwurjani (2006; 2010; 2011). Situs-situs perolehan tembikar pada umumnya berupa situs berparit yang berkonteks dengan temuan lain, seperti tinggalan tradisi megalitik dan makam Islam dari kurun waktu kronologi relatif dari keramik asing abad ke-10—20 M. Karakteristik situs-situs berparit melalui analisis citra landsat berada di daerah dataran rendah limpahan banjir (*floodplain*) yang kaya potensi lempung (Rusyanti et al., 2020). Pandangan awal terhadap bentuk fragmen menampakkan perbedaan dengan Palembang maupun Banten. Hipotesis tersebut perlu diuji kuantitatif (uji lab) sekaligus sebagai upaya membuka peluang untuk mengklarifikasi pendapat dari F.G Steck (Rusyanti et al., 2020).

1. Rekonstruksi Bentuk dengan Rhinoceros Software

Rhinoceros merupakan perangkat lunak yang dirancang oleh Robert McNeel & Associates sebagai perangkat lunak komersil yang dirancang untuk melakukan pemodelan digital tiga dimensi (3D) yang berbasis *Computer Aided Design* (CAD) dengan teknologi *Non-Uniform Rational Basis Splines* (NURBS). Dengan menggunakan NURBS, rhinoceros memungkinkan untuk membentuk garis dan permukaan secara presisi berdasarkan perhitungan matematis (Rusyanti et al., 2021).



Sumber: Olah Data oleh Adhi Akbar Satrio (2021)

Gambar 24.2 Tampilan antarmuka Rhinoceros versi 7

Dalam konteks fleksibilitas, rhinoceros tergolong memiliki fleksibilitas yang tinggi. Dalam hal sistem operasi komputer, rhinoceros mampu dijalankan pada komputer dengan basis Microsoft Windows maupun macOS. Selain itu, rhinoceros juga mengakomodir penyimpanan fail dalam berbagai format sehingga mampu digunakan lintas perangkat lunak maupun mesin cetak tiga dimensi. Seiring perkembangannya, rhinoceros juga mampu melakukan integrasi dengan bahasa pemrograman, seperti python untuk dapat melakukan pemodelan yang kompleks dan dinamis.

a. Keunggulan dan Keterbatasan

Sebagaimana perangkat lunak pada umumnya, *rhinoceros* memiliki keunggulan dan keterbatasan. Keunggulan *rhinoceros* memungkinkan pemodelan digital tiga dimensi dalam waktu relatif singkat dengan tingkat presisi yang tinggi. Perangkat lunak ini mampu mengakomodir satuan ukuran mulai dari mikron hingga parsecs dan memiliki tingkat akurasi hingga tujuh angka di belakang koma. *Rhinoceros* juga memiliki *tool set* yang sangat beragam yang memungkinkan pengguna untuk mengaplikasikan berbagai metode pemodelan. Hal ini memudahkan pengguna perangkat lunak lain untuk beradaptasi dengan fitur-fitur dari rhinoceros. Satu hal yang menjadi pertimbangan penting dalam pemilihan *rhinoceros* untuk penelitian ini adalah kebutuhan spesifikasi komputer yang dapat digunakan untuk menjalankan program ini tidak menuntut spesifikasi yang tinggi. Dengan komputer spesifikasi menengah, program ini dapat dijalankan dengan baik walaupun akan ada hambatan pada saat proses *rendering* model dan pengaplikasian tekstur pada model.

Dalam konteks penelitian ini, terdapat pula beberapa keterbatasan dalam proses pemodelan artefak menggunakan *rhinoceros*. Walaupun memiliki fitur yang cukup beragam dan cenderung lebih mudah dipelajari dibandingkan program sejenis, penggunaan *rhinoceros* tetap memerlukan proses pembelajaran yang cenderung tidak singkat untuk dapat memaksimalkan semua fitur-fiturnya, khususnya fitur yang berkaitan dengan otomatisasi pengukuran menggunakan bahasa pemrograman. Oleh karena itu, pada penelitian ini, fitur yang digunakan masih terbatas pada fitur-fitur dasar pembentukan model dan belum memaksimalkan fitur lain, seperti *grasshopper software* yang dapat memudahkan dalam memprediksi bentuk keseluruhan artefak. Jika pemodelan dekorasi yang dilakukan dirasa masih kurang sempurna atau *riil* maka yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut.

- 1) Jika dekorasi pada artefak merupakan dekorasi berulang atau repetisi maka yang dilakukan adalah membuat satu modul model dekorasi yang kemudian diduplikasi sehingga membentuk pola berulang.
- 2) Jika dekorasi pada artefak merupakan bentuk yang tidak beraturan atau *irregular* maka pemodelan dilakukan dengan sistem proyeksi menggunakan foto artefak.

b. Proses Pemodelan Artefak

Rekonstruksi artefak dengan model digital menggunakan rhinoceros melalui beberapa tahap, antara lain

1) Seleksi Fragmen

Pada tahap ini, fragmen-fragmen yang ada diseleksi berdasarkan bentuk dan ukuran fragmen. Fragmen-fragmen yang berhasil dihimpun cukup beragam, baik dari segi ukuran maupun kompleksitas bentuk. Beberapa fragmen yang memiliki ukuran besar dan dekorasi yang sederhana dan repetitif cenderung lebih mudah direkonstruksi. Sebagai contoh pada fragmen dengan No. Inv. 254/BNTS/WKR/P/02 merupakan contoh fragmen dengan ukuran sedang dan memiliki dekorasi yang repetitif berupa ulir. Fragmen jenis ini memiliki tingkat kesulitan yang rendah sehingga lebih mudah untuk dilakukan proses rekonstruksi digital berdasarkan perkiraan ukuran yang dimiliki fragmen. Ukuran lengkungan pada bagian yang diprediksi sebagai *oriface* atau bibir keramik pada fragmen ini masih dapat diukur sehingga memudahkan untuk memperkirakan diameter asli dari objek utuh fragmen tersebut.



Gambar 24.3 Contoh Fragmen dengan Ukuran Sedang (a) dan Kecil (b).

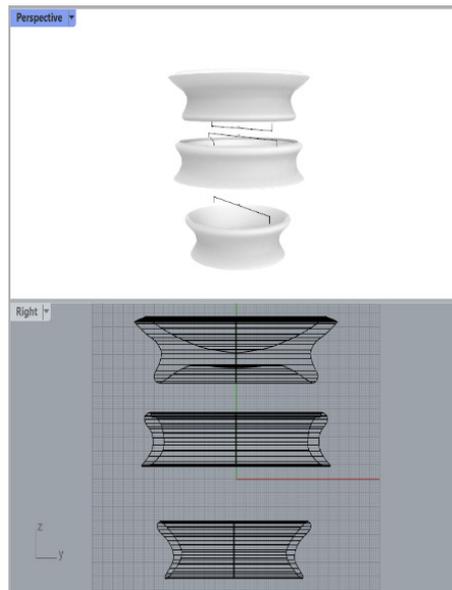
Berbeda dengan fragmen dengan No. Inv. 264/BNTS/WKR/P/02 yang memiliki pecahan cukup kecil dengan dekorasi yang tidak beraturan. Fragmen ini cenderung lebih sulit untuk direkonstruksi karena tidak memungkinkannya prediksi ukuran dan motif dekorasi yang akurat. Bagi fragmen dengan kategori ini, rekonstruksi yang dimungkinkan hingga tahap rekonstruksi fragmen saja.

2) *Outlining*

Tahap berikutnya adalah membentuk *outline* dari dokumentasi fragmen yang ada. Proses ini merupakan proses untuk membentuk struktur dari fragmen dengan menggunakan *point* dan *curve tools*. Berikut tiga metode dalam tahapan *outlining*.

a) *Revolving*

Metode *revolving* digunakan untuk merekonstruksi fragmen artefak berbentuk globular atau silinder yang simetris dengan memanfaatkan operasi *revolve*. *Outline* bentuk ini dapat diproyeksikan dengan membentuk *curve* dari garis bentuk terluar objek yang didapatkan dari hasil analisis fragmen.

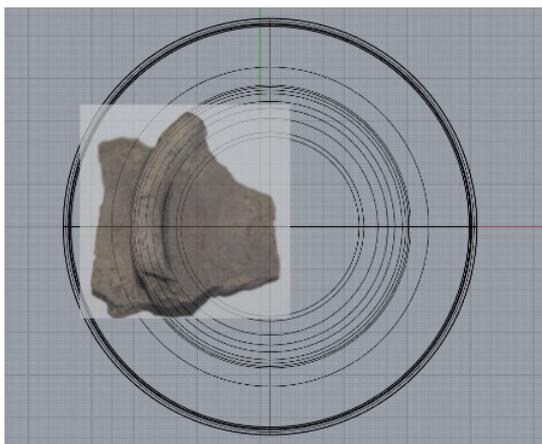


Sumber: Olah Data oleh Adhi Akbar Satrio (2021)

Gambar 24.4 Proyeksi menggunakan *Revolve*

b) *Projection with Picture*

Metode *projection with picture* merupakan metode pemodelan dengan menggunakan proyeksi gambar atau foto. Foto ditempatkan pada area kerja (*viewport*) dan digunakan sebagai acuan dalam membentuk model. Metode ini memerlukan dokumentasi artefak yang difoto frontal dari arah samping, bawah, atau atas. Selain foto, dapat pula menggunakan sketsa terukur yang dapat dijadikan panduan bentuk dan ukuran.



Sumber: Olah Data oleh Adhi Akbar Satrio

Gambar 24.5 Metode Proyeksi dengan Foto Artefak

c) *Manual outlining*

Metode *manual outlining* digunakan apabila fragmen artefak yang didapatkan berukuran kecil atau memiliki pola yang tidak beraturan. *Manual outlining* memungkinkan untuk membentuk fragmen dengan detail yang cukup rumit. Namun, metode ini menuntut waktu yang lebih lama karena setiap *curve* harus dibentuk satu per satu mengikuti bentuk dan detail yang dimiliki oleh fragmen.



Sumber: Olah Data oleh Adhi Akbar Satrio

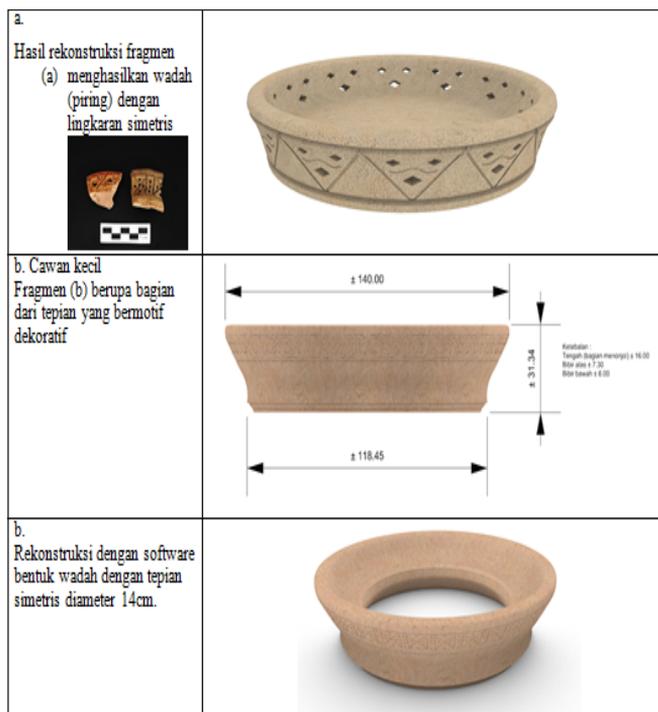
Gambar 24.6 Model Hasil Rekonstruksi dengan *Manual Outlining*

Buku ini tidak diperjualbelikan

3) *Surfacing and Rendering*

Tahapan ini adalah tahapan membentuk permukaan model dan aplikasi material pada model yang telah dibuat. Pada konteks rekonstruksi fragmen, material terbentuk karena proses *revolve* atau *extrude*. Dua perintah ini secara otomatis membentuk dinding permukaan pada saat perintah *tools* ini dijalankan, tetapi belum memiliki tekstur apapun. Material dapat diaplikasikan menggunakan fitur *materials* dengan menambahkan dan mengatur karakter tekstur sesuai dengan spesifikasi permukaan yang diinginkan. Melalui fitur ini, karakter tekstur yang dapat diaplikasikan dapat melalui proses setting secara manual, menggunakan *template* material yang sudah tersedia di dalam *rhinoceros*, atau menggunakan gambar *bitmap texture* permukaan yang diinginkan untuk dapat diaplikasikan melalui proses *rendering*. Tekstur-tekstur yang diterapkan pada fragmen-fragmen ini menggunakan *bitmap texture* berdasarkan foto permukaan keramik dengan material earthenware yang umum digunakan pada gerabah tradisional.

Berdasarkan penggunaan *rhinoceros* software, tidak seluruh sampel terpilih dapat direkonstruksi bentuk utuhnya secara 'relatif sempurna' karena kendala asimetrisitas dan teknis keterbatasan waktu yang tersedia. Namun, dari segi varian, analisis ini mampu memberikan gambaran utuh terutama pada bentuk simetris, seperti jenis mangkuk dan piring, serta cawan baik dari bentuk wadah polos maupun bentuk wadah bermotif (Gambar 24.7).



Keterangan: Contoh hasil rekonstruksi dengan menggunakan *rhinoceros software*. pada fragmen (a) dan (b) dengan hasil berupa piring dan cawan.

Sumber: Rusyanti et al (2021)

Gambar 24.7 Contoh hasil Rekonstruksi dengan Menggunakan rhinoceros Software

c. Rekonstruksi Asal dengan Uji XRF, XRD, Petrografi, dan ICP-MS

Rekonstruksi dugaan dari mana asal tembikar di WS Seputih-Sekampung dan WS Mesuji-Tulang Bawang dengan metode berlapis ini merupakan upaya yang terbilang rumit. Meskipun tulisan ini memfokuskan pada ICP-MS, tetapi perlu juga dilakukan pengujian XRF, XRD, dan Petrografi yang bersifat primer terlebih dahulu sehingga didapat kesatuan rangkaian proses dengan hasil yang diharapkan lebih *utuh* daripada hanya dilakukan secara parsial.

XRF (*X-Ray Fluorescence*) adalah uji laboratorium untuk mengetahui kandungan unsur kimia (*chemical*) utama pada suatu objek/material. XRF dapat merinci kandungan unsur kimia utama hingga unsur terkecil sampai dengan 22 unsur dan kandungan organiknya LOI (*lost of ignition*). XRD (*X-Ray powder diffraction*) adalah uji laboratorium untuk mengetahui kandungan mineral (*minerals*) pada suatu objek/material, termasuk tembikar (Uji XRD ini dilakukan linier dengan uji petrografi, dan ICP-MS dengan menggunakan sampel yang sama). Tujuannya adalah untuk mengkonfirmasi hasil dari ketiganya untuk melihat sejauh mana konsistensinya.

Petrografi adalah salah satu teknik yang digunakan para ahli cabang ilmu petrologi yang mempelajari komposisi mineral batuan berdasarkan pengamatan menggunakan mikroskop (Williams et al., 1982). Petrografi fokus pada pengamatan tekstur, struktur, dan komposisi mineral sehingga selain jenis batuan dapat diketahui, cara pembentukannya pun dapat dikenali (Best, 2002; Robb, 2005). Beberapa jenis mineral sulit untuk diidentifikasi menggunakan mikroskop, selain karena metode preparasi batuan yang tidak memenuhi standar juga bisa diakibatkan oleh ukuran dari mineral yang sangat halus, misalnya mineral lempung.

Inductively Coupled Mass Spectrometry (ICP-MS) adalah suatu teknologi analisis yang dapat mengamati unsur jejak (*trace elements*) dalam tabel periodik yang mampu mendeteksi unsur sampai 0,0000 ppm (*part per million*) yang diukur dengan alat yang bernama ICP/*Induced Coupled Plasma Mass Spectrometer*. Proses ini tergolong menggunakan teknologi tinggi dan penanganan yang sangat hati-hati untuk menghasilkan data yang valid. ICP-MS digunakan dalam analisis lingkungan, geokimia, metalurgi, dan bidang industri lainnya.

Teknologi ICP-MS sering digunakan dalam penelitian yang berkaitan dengan penelusuran mineral jejak/*accessories* sebagai unsur tanah jarang/UTJ/REE (*Rare Earth Elements*). REE merupakan kumpulan dari 17 unsur tanah jarang karena konsentrasinya tidak cukup tinggi untuk ditambang secara ekonomis. Ketujuh belas mineral tersebut termasuk ke dalam kelompok unsur lantanida, yang terdiri dari Scandium (Sc), lanthanum (La), cerium (Ce), praseodymium (Pr), neodmium (Nd), promethium (Pm), samarium (Sm), Europium (Eu), gadolinium (Gd), terbium (Tb), dysprosium (Dy), holmium (Ho), Erbium (Er), thulium (Tm), ytterbium (Yb), lutetium (Lu), dan yttrium (Y). UTJ terbentuk akibat proses fluida magma dan *hydrothermal* yang dipengaruhi oleh lingkungan fisik dan kimia setempat ketika terendapkan, suhu, tekanan, dan komposisi batuan-batuan di sekelilingnya sehingga membentuk berbagai macam batuan dengan pengayaan variasi unsur-unsurnya (Tampubolon et al., 2015).

Unsur Tanah Jarang (UTJ) merupakan kumpulan unsur yang memiliki sifat *immobile* sejak proses diferensiasi batuan di dalam dapur magma dan terjadinya pembekuan batuan. UTJ tidak akan mengalami perubahan secara proporsional dengan batuan induknya (Wilson, 1989). UTJ dapat ditemukan baik pada jenis batuan basa, ultrabasa, *intermediate*, maupun asam dengan kadarnya masing-masing. Pengujian sampel tembikar dengan menggunakan metode ICP-MS menghasilkan tabel dan grafik yang menggambarkan kandungan UTJ yang berbeda-beda dan dapat dipolakan. Berikut signifikansi penggunaan metode berlapis tersebut dalam konteks penelusuran asal tembikar (Tabel 24.1).

Hasil XRF dengan melakukan analisis klasifikasi jenis batuan menggunakan metode klasifikasi C.L. Hughes (Hughes, 1982), terlihat dominasi 70% dari jenis batuan *intermediat* dengan kandungan SiO₂ sebanyak 52—66% (Tabel 24.2). Data

bandingan: Tembikar Candi Jepara, OKU Selatan Ranau, Palembang SiO₂ (56, 69%) (asam), sedangkan Tembikar Panjunan, Banten Lama SiO₂ (51, 29 %) (beku basa).

Tabel 24.1 Sasaran Informasi pada Analisis Tembikar dan Hasilnya

XRF	XRD	Petrografi	ICP-MS
Pengamatan kandungan <i>kimia unsur utama</i> dalam tembikar; SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , TiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , CaO, dan MgO dan penelusuran <i>jenis batuan</i> melalui klasifikasi kandungan SiO ₂ (Hughes, 1982)	Pengamatan kandungan <i>mineral utama</i> penyusun tembikar; Feldspar, Kuarsa, Plagioklas, dan Hornblende	Pengamatan bentuk dan struktur mineral melalui fotomikrografi untuk mengetahui <i>jenis batuan</i> dan cara pembentukannya	Mengidentifikasi kandungan mineral jarang (yang bukan utama) yang terkandung di dalam batuan
Kandungan unsur kimia (%)	Kandungan unsur mineral (%)	Deskripsi verbal dan piktorial	Grafik dan pola

(Sumber: Rusyanti dkk. 2021)

Tabel 24.2 Kandungan Utama Hasil XRF (Sampel a)

No.	Sampel Situs	Prosentase Unsur Kimia (%)				
		SiO ₂	SiO ₂ C.L Hughes, 1982*	Al ₂ O ₃ (aluminium oksida)	Fe ₂ O ₃ /P ₂ O ₅ (besi, fosfor)	LOI
1.	Keramat Teluk	69,14%	Batuan asam	14,56%	6,95%	5,2
2.	Benteng Sabut	59,74%	Intermediate	16,34%	3,89%/3,90%	12,74
3.	Keramat Gemol	68,4%	Batuan asam	18,03%	5,65%	3,48
4.	Bojong	58,71%	Intermediate	16,78%	8,39%/2,49%	9,39
5.	Pugung Raharjo	68,45%	Batuan asam	17,71%	6,74%	2,09
6.	Gunung Tapa	60,07%	Intermediate	13,94%	4,94%/5,9%	12,96
7.	Tambah Luhur	65,30%	Intermediate	14,68%	3,96%	12,83
8.	Wana	51,66%	Batuan beku basa	17,04%	11,37%/2,56%	7,95
9.	Batu Putih	60,58%	Intermediate	15,94%	6,70%	12,27
10.	Periki	59,10%	Intermediate	18,99%	5,125	13,19
11.	Balung Jeruk	57,02%	Intermediate	18,59%	6,93%	11,15
12.	Gunung Terang	58,93%	Intermediate	19,68%	4,02%/1,51%	11,65
13.	Serampang	65,92%	Intermediate	13,29%	6,46%	10,31

No.	Sampel	Prosentase Unsur Kimia (%)				LOI
		SiO ₂	SiO ₂ C.L Hughes, 1982*	Al ₂ O ₃ (aluminium oksida)	Fe ₂ O ₃ /P ₂ O ₅ (besi, fosfor)	
14.	Blambangan Umpu	61,94%	Intermediate	16,72%	7,60%	8,74
15.	Benteng Sari	54,32%	Intermediate	21,43%	5,91%	15,21
16.	Benteng Nibung	62,94%	Intermediate	16,61%	4,79%	9,68
17.	Cicilik	47,23%	Batuan beku basa	16,32%	14,39%	11,61

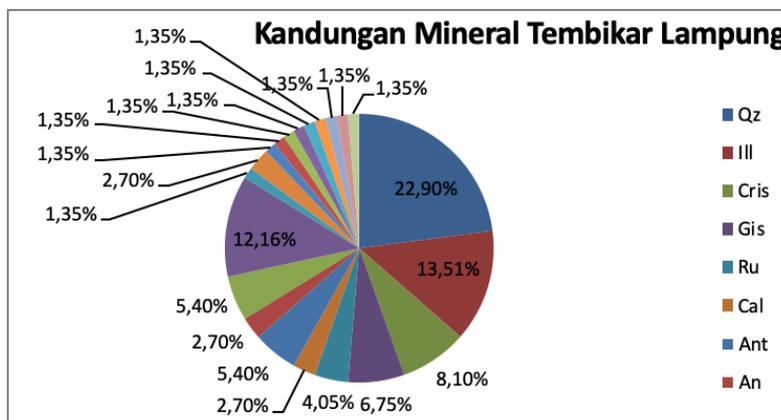
Keterangan: Kandungan utama hasil XRF (sampel a) laboratorium Pusat Survei Geologi Bandung tahun 2021.

(Sumber: Rusyanti et al., 2021)

Hasil XRD menampilkan data kandungan mineral utama, yaitu

- 1) Orthoclase, Anorthoclase, Microline dari jenis feldspar;
- 2) Quartz, Cristobalite dari jenis kuarsa;
- 3) Albite, Anorthite, Diorite dari jenis plagioklas; dan
- 4) Hornblende muncul hampir di sebagian besar sampel tembikar (Gambar 24.8).

Mengacu kembali pada Earle (1982) maka terlihat posisi kandungan tersebut (feldspar, kuarsa, plagioklas, dan hornblende) terdapat baik pada klasifikasi batuan *basic*, *intermediate*, maupun *silicic acid*. Hasil ini perlu dikerucutkan lagi dengan membandingkan hasil petrografi dan ICP-MS.

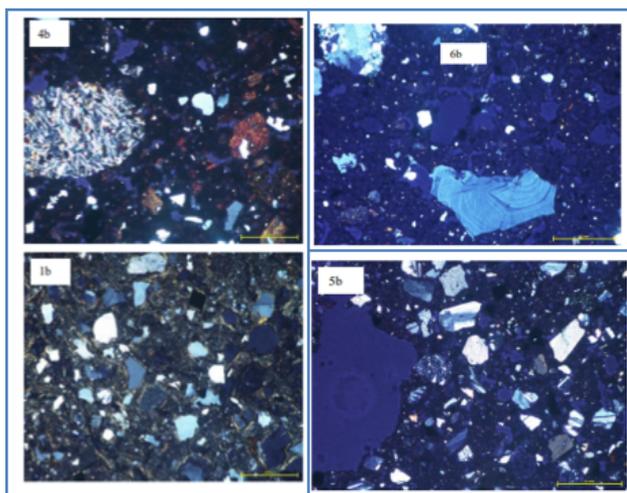


Sumber: Rusyanti et al (2021)

Gambar 24.8 Diagram Kandungan Mineral Tembikar Lampung (Hasil XRD)

Buku ini tidak diperjualbelikan

Hasil petrografi tembikar secara umum menunjukkan karakter batuan vulkanik, yaitu batuan hasil letusan gunung api (piroklastik). Fakta ini mengindikasikan bahwa tembikar dari daerah Lampung diambil dari bahan dasar produk gunung api/ piroklastik/tuf yang telah mengalami perubahan menjadi material bersifat lempungan. Sifat lempungan pada tuf dapat terbentuk akibat proses pelapukan dan atau proses setelah pembentukan batuan, salah satunya perubahan yang dipengaruhi oleh larutan air panas (panas bumi) (Rusyanti et al., 2020). Kandungan-kandungan karakteristik gelas vulkanik tersebut terlihat dari fotomikrografi yang telah dilakukan analisisnya tahun 2020 (Gambar 24.9).



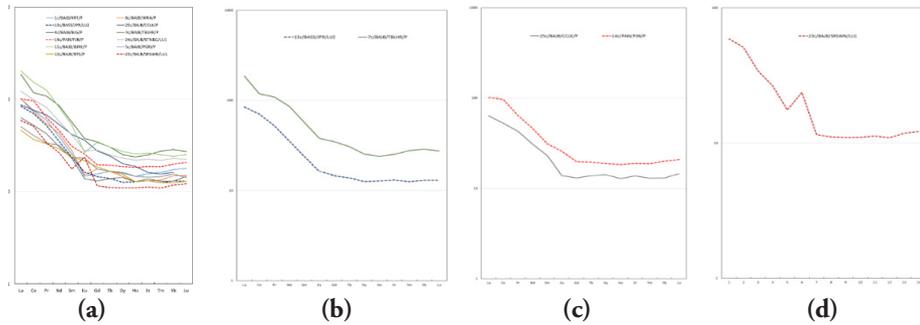
Keterangan: Contoh fotomikrografi tembikar sampel tambah luhur dari DAS Sekampung menunjukkan bahwa ia disusun oleh komponen kristal kuarsa, plagioklas, biotit, fragmen batuan vulkanik terubah, fragmen batuan basaltic, fragmen batuan tuf. Relik gelas vulkanik membentuk pori-pori batuan dan menjadi matriks bersama mineral lempung. Gelas vulkanik terubah menjadi mineral lempung.

Sumber: Rusyanti et al (2021)

Gambar 24.9 Contoh Fotomikrografi Tembikar Sampel Tambah Luhur dari DAS Sekampung vulkanik

Dimanakah lokasi asal batuan dengan karakteristik unsur kimia dan mineral yang sesuai dengan hasil XRF, XRD, dan petrografi di atas? Penelusuran tersebut kembali diuji dengan melakukan perbandingan kesamaan dan ketidaksamaan pada kandungan mineral tanah jarangnya (UTJ) menggunakan metode ICP-MS. Pengujian sampel tembikar dengan menggunakan metode ICP-MS menghasilkan tabel dan grafik yang menggambarkan kandungan UTJ yang berbeda-beda (Gambar 24.10 dan Gambar 24.11).

Gambar ini tidak diperjualbelikan



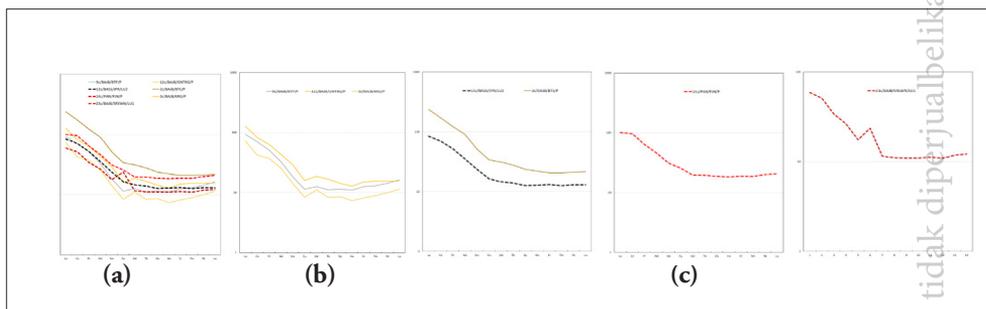
Keterangan:

- (a) Keseluruhan grafik situs-situs di WS Seputih-Sekampung
- (b) Sampel Tambah Luhur mirip dengan Jepara
- (c) Sampel Cicilik tidak mirip dengan Panjunan/Banten begitu pula jika ketiganya dibandingkan
- (d) Sampel Surosowan yang memiliki pola sendiri

Sumber: Rusyanti et al (2021)

Gambar 24.10 Grafik Pola Sampel dari WS Seputih-Sekampung

Simpulan secara umum, sampel dari DAS Seputih—Sekampung tidak memiliki kemiripan pola diagram laba-laba unsur tanah jarang dengan sampel pembanding dari Surosowan/Panjunan Banten. Kemiripan ditemukan lebih mendekati pola sampel dari Jepara (OKU Selatan).



Keterangan:

- (a) Keseluruhan grafik situs-situs di WS Seputih-Sekampung
- (b) Pola grafik UTJ situs-situs di WS Mesuji-Tulang Bawang
- (c) Pola grafik Jepara (OKU) dan Banten

Sumber: Rusyanti et al (2021)

Gambar 24.11 Grafik Sampel dari WS Mesuji-Tulang Bawang

Terdapat tiga pola hasil ICP-MS melalui pengamatan keseluruhan pola grafik yang diperbandingkan satu sama lain, yaitu

- 1) Sampel tidak mirip Surosowan
- 2) Sampel mirip Panjunan/Banten
- 3) Sampel mirip Jebara

Hasil akhir dari penelusuran ini menghasilkan resume dominasi ‘dugaan sementara’ asal tembikar Lampung *bukan* dari Jawa maupun Palembang (Tabel 24.3) atau dengan kata lain diduga berasal dari lokasi lain, selain sampel bandingan (Jebara; Panjunan, Banten; Surosowan, Banten). Kemiripan sampel tembikar dengan sampel bandingan ditemukan hanya beberapa saja (Tabel 24.3).

Tabel 24.3 Resume Hasil Analisis REE

No.	Situs	WS	REE
1.	Keramat Teluk	Seputih-Sekampung	?/lokasi lain
2.	Bojong		?
3.	Pugung Rahardjo		?
4.	Tambah Luhur		Jebara
5.	Wana		?
6.	Periki		?
7.	Balung Jeruk		?
8.	Benteng Nibung		?
9.	Cicilik		Panjunan, Banten
10.	Benteng Sabut	Mesuji-Tulang Bawang	Jebara
11.	Keramat Gemol		?
12.	Batu Putih		?
13.	Gunung Terang		?
14.	Hujung Langit	WS Semangka	?
15.	Tanjung Raya		Jebara
16.	Kehidupan		?
17.	Pulau Pinang		?
18.	Batu Raja		?
19.	Negeri Ratu		Panjunan, Banten
20.	Buay nyerupa		Panjunan, Banten
21.	Hujung Kp. Tuha		?
22.	Sumber Jaya		?

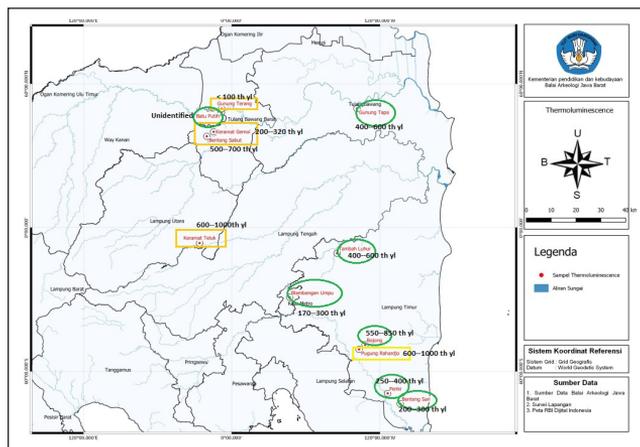
(Sumber: Rusyanti et al., 2020; 2021)

a. Rekonstruksi Kronologi dengan Uji *Thermoluminescence*

Thermoluminescence merupakan salah satu metode pertanggalan (*dating*) yang dapat dilakukan pada objek tembikar yang dapat menjangkau usia hingga 10.000 tahun yang lalu dan bahkan hingga 50.000 tahun yang lalu (Butzer, 1994). Meskipun secara presisi metode ini tidak seakurat radiokarbon, tetapi dalam kondisi kelangkaan sumber data yang dapat di sampling, metode ini dapat digunakan sebagai salah satu referensi baik untuk mendukung maupun melengkapi dugaan kronologi relatif yang pernah ada sebelumnya.

Thermoluminescence (TL) *dating* bekerja dengan cara memberikan sinyal berupa kurva amatan ketika sampel tembikar dipanaskan pada suhu tertentu yaitu 500°C atau lebih. Mineral yang terkandung pada sampel yang dipanaskan akan membentuk *luminescence* yang setara dengan jumlah elektron yang terperangkap ketika mengalami radiasi atau yang disebut dengan TL Clock (Butzer, 1994). Tidak semua unsur yang terkandung pada tembikar dapat membentuk TL mineral atau *luminescence*, *quartz*, dan *feldspar* merupakan mineral penting yang diperlukan dalam proses ini. Jika mengalami kekurangan, baik secara kuantitas maupun kualitas maka TL mineral tidak cukup terbentuk dan sinyal tidak dapat dibaca. Kondisi tersebut sedemikian jauh akan berkaitan dengan kandungan unsur geologi batuan asal yang bisa jadi hanya mengandung sedikit TL mineral/*quartz* atau mungkin tidak ada sama sekali.

Hasil analisis TL membantu dalam hal memposisikan situs pada konteksnya (*time*) dan memberi latar belakang kesejarahan yang terjadi dalam konteks wilayah tersebut. Berikut data sebaran hasil TL (Gambar 24.12) dan kisaran konteks sejarah yang terjadi di Lampung (skema periodisasi).

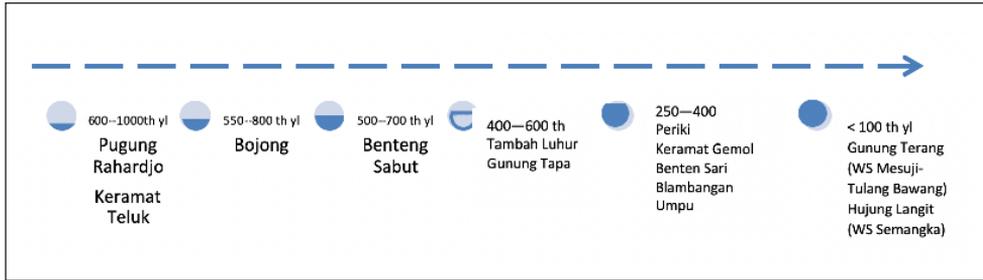


Keterangan: Kuning (tahun 2020), Hijau (tahun 2021)

Sumber: Rusyanti et al (2021)

Gambar 24.12 Peta sebaran hasil TL

Buku ini tidak diperjualbelikan



Sumber: Rusyanti et al (2021)

Gambar 24.13 Skema Periodisasi

Tabel 24.4 Perbandingan Hasil TL dengan Peristiwa-Peristiwa di Lampung (dalam Kisaran Abad).

Abad 10-14	Abad 12-15	Abad 14-16	Abad 15-17	Abad 17-18	Abad 19/20
Prasasti Hujung Langit (10 M)	Legenda se-kala Brak dan Buay Tumi (abad 14M) Umar Rusdi dkk., 1986:24)	1552 Perjanjian Daluang Kuripan Banten-Lampung	1682 VOC menguasai monopoli dagang di Lampung	Berkembang kesatuan adat berdasarkan marga, buay;saibatin dan pepadun (Hadikusuma, 1989).	1829 Residen Belanda ditunjuk untuk Lampung
Prasasti Tanjung Raya 1&2 (10/14M)		Masa keratuan Balaw di bawah Ratu Lengka (16 M) (Hadikusuma, 1989: 5-6)	Prasasti-prasasti Kesultanan Banten di Lampung; 1663 (Prasasti Lampung), 1691 (Prasasti Putih dan Krui), 1692 Prassati Penet (Hakiki dkk., 2020)	EIC (East Indie Compagnie) menguasai Krui, Lampung Barat (1745)	1905 awal kedatangan transmigran Jawa di Lampung
Lampung dalam pengaruh Hindu-Buddha	Lampung dalam pengaruh Islam		Lampung pengaruh Banten		Lampung Pengaruh Kolonial

(Sumber: Rusyanti et al., 2021)

D. KESIMPULAN

Pemanfaatan teknologi Rhinoceros software dan uji laboratorium berlapis (XRF, XRD, Petrografi, dan ICP-MS) dan *dating* dengan teknologi *thermoluminescence* dalam konteks pengungkapan bentuk, asal, dan kronologi tembikar di Lampung dapat digunakan sebagai metode sekaligus alat bantu analisis arkeologi untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan komprehensif. Penggunaannya dalam penelitian ini telah memberi hasil yang signifikan. Penelitian *desk study* ini menghasilkan simpulan tembikar Lampung memiliki bentuk dan motifnya sendiri yang unik (rekonstruksi Rhinoceros), dibuat atau berasal dari potensi lingkungannya sendiri (hasil ICP-MS menunjukkan dominan bukan dari Palembang/Banten) (Tabel 24.3), dan diproduksi dari masa ke masa (Hasil TL pada Tabel 24.4).

E. SARAN

Penelitian ini bersifat penelitian *desk study* pada kondisi pandemi. Pengungkapan asal tembikar masih membutuhkan pengujian lanjutan dengan menggunakan sampel batuan asal dari wilayah dugaan lainnya (Batuan Lampung dan Palembang) untuk hasil yang lebih maksimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Tim Penelitian 2020–2021; Katrynada Jauharatna, Syaldillah Rizki Abdurrahman, Irwan Setiawidjaya, dan Bapak Amir. Narasumber: Bapak Kristanto Wahyudi dan Bapak Dadan (Balai Besar Keramik). Rekan diskusi sejawat: Ananta Purwoarminta dan Prahara Iqbal (Geotek LIPI). Bapak Agus (Perpustakaan Museum Geologi) dan Ibu Wanti (Museum Sri Baduga). Ketiga penulis merupakan penulis utama.

DAFTAR PUSTAKA

- Amran, Frieda. 2015. *Menjari Jejak Masa Lalu Lampung* *Sehimpun artikel Lampung Tumbai 2014*. Edited by Udo Z Karzi. 2014th ed. Lampung: LaBRAK. <https://onsearch.id/Record/IOS14942.INLIS00000000011940>.
- Best, Myron G. 2002. *Igneous and Metamorphic Petrology*. Oxford: Blackwell Publishing.
- Butzer, Karl W. 1994. *Archaeology as Human Ecology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Earle. 1982. "Classification of igneous rocks." Dans *Elsevier eBooks*. , 89–124. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-42011-4.50009-9>.
- Hughes, C.J. (1982). Development in Petrology. Chapter 4 Classifications of Igneous Rock. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444420114500099>
- Laili, Nurul. 2007. "Permukiman Situs Benteng Majapahit." dalam *Permukiman, Lingkungan, dan Masyarakat. Bandung*, edited by Supratikno Rahardjo, 81—89. Bandung: Ikatan Ahli Arkeologi Indonesia Komda Jabar Banten.
- . 2009. "Situs Permukiman Cicilik, Kecamatan Jabung Kabupaten Lampung Timur." dalam *Migrasi dan Pengelompokan Penduduk*, edited by Supratikno Rahardjo, 97—108. Bandung: Alqa Print Jatinangor.

- R.r Triwurjani. 2010. "Adaptasi Komunitas Megalitik Di DAS Sekampung Provinsi Lampung." dalam *Pentas Ilmu di Ranah Budaya: Sembilan Windu Prof.Dr. Edi Sedyawati*, edited by Endang Sri Hardiati and R.r. Triwurjani, 575. Jakarta: Pustaka Larasan.
- Robb, L. 2005. *Introduction to Ore-Forming Processes*. Oxford: Blackwell Publishing.
- Rusyanti, Sawongso Sadewo, Iwan Setiawan, Irwan Setiawidjaya, dan Dayat Hidayat. 2020. "Laporan Penelitian Arkeologi Karakteristik Lingkungan Ddn Tembikar Kumo Di Provinsi Lampung." Bandung.
- Rusyanti, Adhi Akbar Satrio, Iwan Setiawan, Katrynada Jauharatna, Irwan Setiawidjaya, dan Syaldillah Rizki Abdurrahman. 2021. "Laporan Penelitian Arkeologi Bentuk, Kronologi, dan Asal Tembikar WS Seputih--Sekampung dan WS Mesuji--Tulangbawang Di Provinsi Lampung." Bandung: Balai Arkeologi Jawa Barat.
- Saptono, Nanang. 1995. "Situs Tambah Luhur: Permukiman Pada Tingkat III?" *Jurnal Balai Arkeologi Bandung* 2 (November): 43--50.
- . 2000. "Pola Dan Perkembangan Permukiman di Sepanjang Way Tulangbawang." dalam *Kronik Arkeologi: Perspektif Hasil Penelitian Arkeologi di Jawa Barat, Kalimantan Barat, dan Lampung*, edited by Ety Saringendyanti, 144--66. Jakarta: Pusat Penelitian Arkeologi Nasional.
- . 2001. "Ragam Aktivitas Dan Rancang Bangun Benteng di Situs Keramat Gemol, Tulangbawang." dalam *Manusia dan Lingkungan Keberagaman Budaya dalam Kajian Arkeologi*, edited by Tony Djubiantono and M. Ali Fadillah, 26--46. Bandung: Ikatan Ahli Arkeologi Indonesia (IAAI).
- . 2002. "Hubungan Fungsional Situs Benteng Sabut, Benteng Prajurit Putinggelang, dan Keramat Gemol." dalam *Jelajah Masa Lalu*, edited by Agus Aris Munandar, 86--101. Bandung: Ikatan Ahli Arkeologi Indonesia Komda Jabar Banten.
- . 2003. "Laporan Penelitian Arkeologi Permukiman Benteng Di Kampung Gunung Katun Tanjungan Dan Gunung Katun Malay Kecamatan Tulangbawang Udik, Kabupaten Tulangbawang, Propinsi Lampung." Bandung: Balai Arkeologi Bandung.
- . 2004. "Struktur 'Kota' Kuna Gunung Terang, Tulangbawang Lampung." dalam *Teknologi Dan Religi Dalam Perspektif Arkeologi*, edited by Agus Aris Munandar, 42--54. Bandung: Ikatan Ahli Arkeologi Indonesia (IAAI) Komda Jabar Banten.
- Tampubolon, Armin, Bambang Pardianto, Rudi Gunradi, dan Sulaeman. 2015. *Unsur Tanah Jarang Di Indonesia: Geologi, Eksplorasi, Dan Peluang Pengembangannya*. Bandung: Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral Pusat Sumber Daya Geologi.
- Triwurjani, Rr. 2011. *Situs-Situs Megalitik Di DAS Sekampung*. Jakarta: Wedatama Widya Sastra.
- Triwurjani, Rr. 2006. "Benteng Tanah DAS Sekampung." dalam *Permukiman Di Indonesia. Perspektif Arkeologi*, edited by Truman Simanjuntak, 97--101. Jakarta: Departemen Kebudayaan dan Pariwisata Badan Pengembangan Sumberdaya Kebudayaan dan Pariwisata.
- Wahyudi, Wanny Rahardjo. 2012. *Tembikar Upcara Di Candi Jawa Tengah Abad 8—10 M*. Depok: Wedatama Widya Sastra.
- Williams, H., FJ Turner, and C.M Gilbert. 1982. *Petrography: An Introduction to the Study of Rocks in Thin Section*. San Francisco: W.H Freeman and Company. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/gj.3350010315>.
- Wilson, B.M. 1989. *Igneous Petrogenesis a Global Tectonic Approach*. New York: Springer Science and Business Media.