

## Teknologi Pembuatan Atap Genting Struktur Monumen Jeti dan Syahbandar Kompleks Arkeologi Sungai Batu: Interpretasi Awal Berdasarkan Analisis Petrografi, Belauan Sinar-X (XRD) dan Pendarfluor Sinar-X (XRF)

Technology of Roof Tile Making for Jetty and Administrative Monument at Sungai Batu Archaeological Complex: Preliminary Interpretation Based on Analysis of Petrography, X-Ray Diffraction (XRD) and X-Ray Fluorescence (XRF)

MOHD HASFARISHAM ABD HALIM & MOKHTAR SAIDIN

### ABSTRAK

*Kajian arkeologi di Kompleks Arkeologi Sungai Batu, Kedah telah menemukan artifak atap genting yang bertaburan di tapak monumen jeti dan syahbandar. Temuan tersebut jelas mendedahkan industri pembuatan atap genting telah bermula di kawasan Semenanjung Tanah Melayu sejak 582 Sebelum Masihi berdasarkan pentarikhan struktur monumen berkenaan. Atap genting tersebut dihasilkan daripada tanah liat yang diperolehi dari kawasan berdekatan dengan Kompleks Arkeologi Sungai Batu, ditumbuk sebelum diuli dan dibakar di dalam relau pada suhu sehingga 1400°C berdasarkan kehadiran mineral mulit dan kristobolit. Kesemua data berkenaan memperlihatkan perkembangan teknologi penghasilan dan pembinaan yang telah pesat berlangsung di kawasan ini semenjak sebelum kurun pertama Masihi.*

*Kata kunci: Monumen; atap genting; analisis saintifik; teknologi pembuatan; Kompleks Arkeologi Sungai Batu*

### ABSTRACT

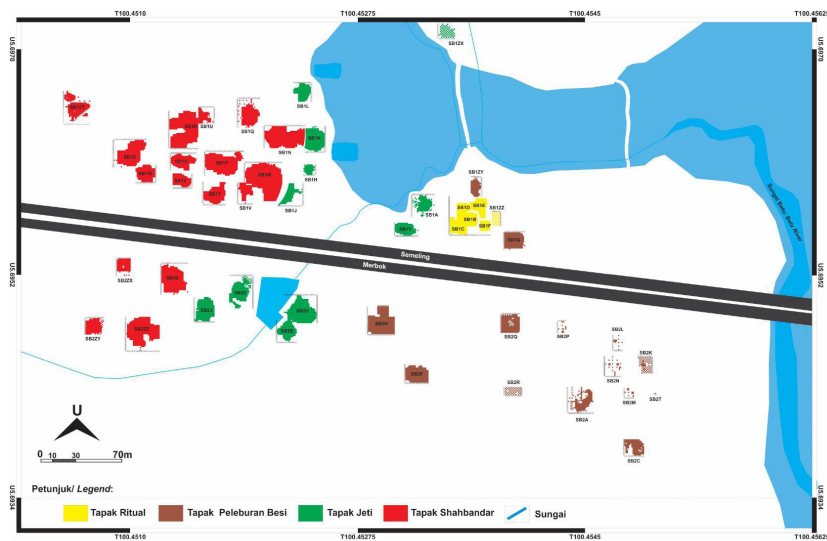
*Archaeological excavations at the Sungai Batu Archaeological Complex in Kedah have unearthed dispersed roof tile artefacts around the jetty and administrative monument sites. The findings unequivocally establish that the Malay Peninsula's roof tile manufacturing business began in the 582nd century BCE, based on the age of the monument construction. The roof tile is formed of clay from the Sungai Batu Archaeological Complex, pounded prior to kneading, and burnt in a clay furnace at temperatures of up to 1400 °C due to the presence of mullite and cristobolite minerals. Much of this evidence demonstrates the tremendous advancement of manufacturing and construction technology in this region since the early first century AD.*

*Keywords: Monument; roof tile; scientific analysis; manufacturing technology; Sungai Batu Archaeological Complex*

### PENGENALAN

Kajian arkeologi yang dijalankan ke atas 11 struktur jeti dan 17 monumen syahbandar di Kompleks Arkeologi Sungai Batu (Plet 1) telah merekodkan temuan struktur atap genting yang bertaburan secara *in-situ* di tapak berkenaan. Ini kerana kebanyakan atap genting tersebut berasosiasi dengan struktur

lantai, koridor atau ruang bilik struktur jeti dan syahbandar (Plet 1) (Mohd Hasfarisham 2019) berkenaan yang membolehkan datanya diguna pakai untuk analisis makmal. Berdasarkan rupa bentuk atap genting berkenaan yang berbentuk “*wave*” dan “*zig zag*” mencadangkan ianya merupakan atap genting jenis Singgora.



PETA 1. Kajian arkeologi di tapak jeti (berwarna hijau) dan syahbandar (berwarna merah) mendedahkan temuan atap genting yang mencadangkan industri penghasilan atap genting telah bermula sejak 582 Sebelum Masihi sehingga kurun ke-13 Masihi (selepas Mohd Hasfarisham 2019)



PLET 1. Temuan taburan atap genting (segi empat berwarna hitam) di tapak jeti dan syahbandar Kompleks Arkeologi Sungai Batu yang *in-situ* dengan struktur lantai, koridor dan ruang bilik di tapak berkenaan (selepas Mohd Hasfarisham 2014)

Hasil pentarikan sampel bata yang berasosiasi dengan temuan atap genting jelas membuktikan atap genting berkenaan berkemungkinan dihasilkan sejak 582 Sebelum Masihi sehingga kurun ke-13 Masihi. Pentarikan tersebut menggunakan kaedah pendar kilau rangsangan optik (*OSL*) dan radiokarbon. Berdasarkan kepada pentarikan berkenaan, berkemungkinan teknologi pembuatan dan penghasilan atap genting ini bermula di kawasan Kompleks Arkeologi Sungai Batu dan selepas itu teknologi ini tersebar dan berkembang apabila

urusan perdagangan mula berlaku dengan pesat di kawasan Selat Melaka.

Interpretasi berkenaan diperkukuhkan dengan kajian Shamsu dan Zulkifli (2011; 2012) dan Shamsu (2013) yang menyatakan bukti perusahaan atap genting jenis Singgora di Asia Tenggara hanya bermula sekitar kurun ke-16 Masihi di Songkla dan Pattani di Thailand dan di Pantai Timur Semenanjung Malaysia terutama di Kampung Pengkalan Baru, Bachok, Kelantan (Zulkifli, 2011: 2012) (Rajah 1a&b).



(a)



(b)

RAJAH 1. Industri penghasilan atap genting yang masih dijalankan di kawasan Pantai Timur Semenanjung Malaysia yang dihasil dan dibentuk daripada tanah liat (a) sehingga dibakar menjadi bahan siap (b) (selepas Nor Hidayah 2014)

Selain itu, asalan nama atap genting ini juga dikatakan berasal dari Songkla, Thailand yang bermaksud gunung berbentuk singa (Salinger 1997) atau menurut Shamsu (2013), Shamsu dan Zulkifli (2011) bermaksud pekan Singgora, Seggora atau Songkla iaitu nama tempat perusahaan ini bermula. Adit (1994); Zulkifli, (1996); Salinger (1997); Nasir dan Teh, (2011) pula berpendapat atap Singgora ini juga dapat dirujuk dengan pelbagai panggilan

nama seperti atap bata, genting dan jubin Singora berdasarkan kawasan ia dihasilkan.

Sehingga kini hanya perusahaan atap genting Singgora di Kampung Pangkalan Baru, Bachok, Kelantan seperti mana direkodkan oleh Shamsu (2013) sahaja yang masih aktif menghasilkan atap genting jenis ini di Malaysia yang membolehkan data klasifikasi dan teknologi penghasilannya dikaji dan direkodkan.

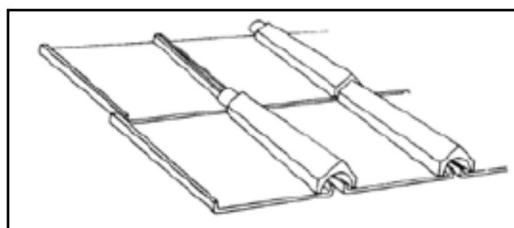


RAJAH 2. Atap genting Kampung Pengkalan Baru yang berbentuk bersegi empat dan tirus di hadapan atap genting berkenaan (selepas Shamsu 2013)

#### KAJIAN TERDAHULU

Analisis berkaitan temuan atap genting dijalankan bagi memperluaskan data berkaitan perkembangan teknologi penghasilan atap genting bagi kerajaan awal di Asia Tenggara. Kajian arkeologi di peringkat Asia Tenggara terutama di Kemboja dan Thailand telah menemukan beberapa atap genting yang mempunyai *glase* berwarna hijau dan coklat selain mempunyai bentuk melengkung dan bersegi empat (Sharon et al. 2020). Ciri berkenaan mempunyai sedikit persamaan dengan temuan atap genting di tapak istana di Zhou Barat (1100-771 Sebelum Masihi) yang juga direkodkan temuan bentuk sedemikian selain bentuk hujung atap genting separa membulat, bersegi empat rata dan berbentuk silinder (Sharon et al. 2020).

Kajian arkeologi peringkat dunia turut mendedahkan beberapa tamadun utama dunia telah direkodkan temuan atap genting daripada tanah liat sejak kurun ketujuh Sebelum Masihi (Wikander 1988; Sapirstein 2016). Morfologi atap genting tersebut jelas berbeza dengan klasifikasi atap genting yang ditemukan di tapak jeti dan syahbandar di Kompleks Arkeologi Sungai Batu. Atap genting dari tamadun Greek terutama di tapak Corinth, Thermos, Corfu dan Kalydon jelas mendedahkan rupa bentuk atap genting bersegi empat tepat (Rajah 2) (Wikander 1988; Sapirstein 2016) selain mempunyai struktur kecil melengkung sebagai penyambung antara susunan atap genting. Penyambung tersebut bertujuan agar susunan atap genting menjadi stabil selain mengelakkan kebocoran bumbung terjadi terutama apabila musim hujan.



RAJAH 2. Rupa bentuk atap genting di tapak Corinth (selepas Wikander 1988)

Rupa bentuk yang hampir sama turut direkodkan bagi penemuan atap genting di selatan India yang juga berbentuk bersegi empat tepat (Rawat 2011; Priya 2018). Rupa bentuk atap gentingnya lebih rata

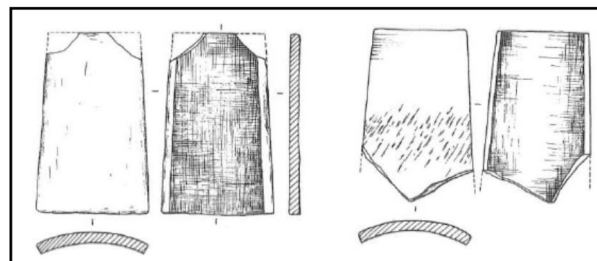
tetapi ianya dihasilkan dengan adanya struktur selak di bahagian tepi atap genting (Rajah 3). Struktur selak ini dibina dengan tujuan utama sebagai penstabilan susunan atap genting berkenaan.



RAJAH 3. Rupa bentuk atap genting selatan India yang mempunyai sistem selak di bahagian tepi atap genting (selepas Rawat 2011)

Kajian arkeologi di China dan Uighur telah merekodkan temuan atap genting berbentuk segi empat dan melengkung (Rajah 4) dan tidak mempunyai lubang penyelak (Aiping dan Jiangbo 2010). Atap genting berkenaan mempunyai bentuk

“V” di bahagian hadapan yang memperlihatkan jenis rupa bentuk atap genting bagi tamadun Asia Timur berbeza dengan temuan di Kompleks Arkeologi Sungai Batu.



RAJAH 4. Rupa bentuk atap genting tamadun China yang dihasilkan berbentuk segi empat tepat dan melengkung (selepas Lyndon et al. 2015)

Ekskavasi arkeologi di tamadun Asia Barat terutama di tapak Ez Zantur, Petra, Jordan (Hamari 2017) turut direkodkan temuan atap genting yang morfologinya juga berbeza dengan rupa bentuk atap genting Kompleks Sungai Batu. Ini kerana atap genting di tapak berkenaan saiznya lebih besar berbentuk segi empat tepat, tidak meruncing dengan ketebalan sekitar 3 cm. Selain itu, tapak ini turut direkodkan temuan atap genting berbentuk

gelombang (*wave*) yang dilubangkan di bahagian tepi untuk tujuan selakkan bagi atap genting berkenaan (Rajah 5) yang mempunyai persamaan dengan temuan atap genting di Kompleks Arkeologi Sungai Batu. Namun perbezaan antara atap genting berkenaan hanyalah daripada segi saiz yang memperlihatkan atap genting dari tapak Ez Zantur, Petra ini memiliki saiz yang lebih tebal.





RAJAH 5. Temuan atap genting di tapak Ez Zantur yang memperlihatkan ketebalan atap genting adalah sekitar 3 cm (selepas Hamari 2017)

Ekskavasi arkeologi di tapak Co Loa turut direkodkan temuan atap genting yang mempunyai pengaruh kebudayaan China dan Vietnam (Hilger 2016). Pengaruh kebudayaan berkenaan dapat berkembang apabila proses perdagangan antara kedua-dua negara berkenaan giat dijalankan

terutama sebelum kurun pertama Masihi. Atap genting di tapak Co Loa dihasilkan berbentuk segi empat, mempunyai corak garisan dan mempunyai *glais* berwarna biru (Rajah 6). Atap genting ini juga dihasilkan sedikit tebal bagi menjamin ketahanannya.



RAJAH 6. Atap genting yang ditemui di tapak Co Loa yang mempunyai *glais* (selepas Hilger 2016)

Berdasarkan kajian arkeologi jelas menggambarkan tamadun awal dunia telah mula menghasilkan atap genting sebagai penutup bumbung monumen yang didirikan sejak kurun ketujuh Sebelum Masihi. Dicadangkan teknologi penghasilan atap genting dapat disebarluaskan berikutan wujudnya kegiatan perdagangan yang membolehkan interaksi sosial berlaku yang akhirnya membawa kepada perkembangan teknologi. Hampir kesemua atap genting dihasilkan dengan bentuk segi empat tepat tetapi yang membezakan antara setiap atap genting berkenaan adalah sistem selakkan dan rupa bentuk hujungnya yang berbentuk “V” atau “U” dan ada yang mempunyai *glais* dan berwarna.

Hasil analisis atribut atap genting membolehkan maklumat berkaitan rupa atap genting antara tamadun awal dunia diklasifikasikan yang memperlihatkan kearifan tempatan berkaitan penghasilan atap genting di Kompleks Arkeologi Sungai Batu. Ini kerana kajian arkeologi sehingga kini belum menemukan atribut atap genting yang sama atau hampir sama dengan temuan atap genting di Kompleks Arkeologi Sungai Batu.

## METODOLOGI KAJIAN

Kajian ini melibatkan 15 sampel atap genting masing-masing tujuh (7) bagi tapak jeti dan lapan (8) bagi monumen syahbandar di Kompleks Arkeologi Sungai Batu, Lembah Bujang, Kedah. Kesemua atap genting berkenaan diperoleh semasa ekskavasi dijalankan di tapak berkenaan dan dipilih berdasarkan lokasinya yang masih *in-situ* dengan struktur monumen. Atap genting tersebut kemudiannya dijalankan analisis petrografi, XRD dan XRF bagi mendapatkan data primer bagi menjawab tujuan penyelidikan ini. Beberapa prosedur analisis saintifik (Shamsul Anuar 2015; Mohd Hasfarisham 2014, 2019) telah dijalankan bagi analisis berkenaan dan diterangkan seperti berikut:

### PENYEDIAAN SAMPEL PETROGRAFI

Sampel atap genting yang ingin dijalankan analisis dipotong menjadi bahagian yang lebih kecil menggunakan *Felkel tile master* dan dikeringkan. Sampel tersebut kemudiannya direndam di dalam

bancuhan resin, pengeras (*hardener*) dan acetone dengan nisbah 1:1:1 selama 10 minit untuk memastikan penyerapan ke dalam rongga sampel terjadi dengan sempurna. Sampel berkenaan dikeluarkan dan dipanaskan di atas alat pemanas (*hot plate*) pada suhu 150°C. Setelah sampel kering, ia akan digilap menggunakan mesin *cast grinder iron* bersama serbuk karborandum 600 untuk mendapatkan permukaan yang rata dan licin dan selepas itu sampel dibasuh untuk dibuang kotoran yang ada semasa digilap. Selepas itu sampel dikeringkan dengan permukaan yang telah dilicinkan tadi diletakkan ke atas supaya ia tidak kotor (Shamsul Anuar 2015). Selepas ianya kering, maka sampel berkenaan akan dilekatkan di atas kepingan kaca menggunakan *Canada balsam cement* yang terlebih dahulu dicairkan di atas slaid kaca. Sampel tersebut kemudiannya diasah sehingga mencapai ketebalan 0.03 mm di atas slide kaca dan setelah selesai ia akan dilekatkan dengan penutup slaid sebelum dicerap datanya di bawah mikroskop.

Selain analisis petrografi, sampel atap genting berkenaan turut dijalan analisis XRD dan XRF bagi mengenal pasti bahan asas pembuatan atap genting berkenaan. Umumnya prosedur analisis XRD dan XRF tersebut dapat diterangkan seperti berikut:

#### PROSEDUR PENYEDIAAN SAMPEL UNTUK ANALISIS XRD

Semasa proses analisis XRD dilakukan beberapa peralatan akan digunakan seperti ketuhar, mangkuk pateri, spatula, pemegang sampel (50 mm x 8 mm), kepingan kaca (50 mm x 75 mm x 1 mm) dan kertas pengalas. Analisis XRD ini tidak menggunakan sebarang bahan kimia. Pada permulaan analisis sebanyak dua hingga tiga gram sampel akan dimasukkan ke dalam bekas petri dengan menggunakan spatula dan dipanaskan di dalam ketuhar pada suhu 105°C selama satu jam. Selepas itu sampel tersebut akan disejukkan beberapa minit dengan membiarkan ia terdedah kepada udara sebelum ia dimasukkan ke dalam desikator. Bagi tujuan melapik pemegang sampel maka kertas pengalas diletakkan di atas meja. Bagi menjalani analisis XRD sampel berkenaan akan dimasukkan ke dalam ruangan sampel dengan menggunakan spatula. Kepingan kaca digunakan untuk ditekapkan pada permukaan ruangan sampel bagi tujuan memenuhkan ruangan sampel dengan sampel berkenaan. Selepas sampel selesai dimasukkan ke dalam ruangan sampel, maka ia akan dianalisis di dalam mesin XRD (Mohd Hasfarisham 2014, 2019).

#### KAEDAH ANALISIS XRD

Bagi menjalankan analisis XRD, pemegang sampel diletakkan di atas pentas penukar sampel dengan menekan bahagian pemegang pada pentas penukar sampel. Selepas itu, sampel dimasukkan ke dalam ruangan goniometer dan ditetapkan kedudukannya dengan menekan punat berwarna merah sehingga kedengaran bunyi klik. Setelah bunyi tersebut kedengaran, maka pintu ruangan diffractometer ditutup. Ikon *Diffract Measurement* ditekan dan paparan tettingkap *Diffract Measurement* akan dipaparkan selepas itu. Butang *Commander* ditekan dan paparan *Instrument Component* akan terpapar. Selepas itu butang *Initialize* sampel ditekan untuk memastikan kedudukan sampel dalam ruangan sampel. Selepas ia dikenal pasti kedudukannya, maka sampel yang ingin dijalankan analisis dipilih dan ditetapkan kedudukannya (Mohd Hasfarisham 2014, 2019).

Voltan (V) dan arus (mA) disetkan kepada nilai yang sesuai supaya kuasa dapat menghasilkan sinar-X yang mencukupi semasa analisis dijalankan (nilai voltan 40 kV; Arus 40 mA menghasilkan kuasa 1600 W). Butang ikon sinar-X di klik bagi membenarkan sinar-X dihasilkan. Butang *Shutter* turut ditekan bagi membolehkan sinar-X keluar daripada tabung sinar-X untuk menganalisis sampel. Bagi analisis XRD, tabung sinar-X kuprum (Cu) digunakan bagi menghasilkan panjang gelombang 1.54060. Selepas itu, *Detector LynxEye* dipilih dan diubah kepada *off-set* dan *Discrimination* pada pengesanan mengikut kesesuaian. Butang *Coupled Two Theta/Theta* pada ruangan *Scan Type* dipilih. Butang *Continuous PSD fast* pada ruangan *Scan mode* turut dipilih. Selepas itu, masa ditentukan daripada 0.01s sehingga 1000s. Bagi analisis sampel ini masa yang ditentukan adalah 1.0s (Mohd Hasfarisham 2014, 2019).

Sudut permulaan dan penamatan parameter sudut 2 Theta goniometer ditentukan (sudut tidak melebihi 180° dan tidak kurang daripada 2°). Selepas itu, sudut peningkatan tabung sinar-X dan pengesanan ditentukan (nilai ini akan menentukan langkah setiap saiz bagi sesuatu ujian). Bagi analisis ini sudut telah ditentukan iaitu 2 $\Theta$  adalah dari 5°-70°. Selepas sudut ditentukan, maka butang mula ditekan bagi memulakan analisis XRD. Paparan pengukuran diffractometer akan memaparkan graf sudut 2 Theta melawan bilangan (*Count*) pada skrin. Maklumat keadaan dan tempoh ujian juga dipaparkan pada ruangan paparan ujian. Hasil ujian kemudiannya dianalisis dengan menggunakan

program *DiffRACT eva Version 1.4* bagi mengenal pasti puncak data analisis dan dipadankan dengan puncak yang terdapat dalam pangkalan data *Powder Diffraction File (PDF-2/Release 2010 RDB)* (Mohd Hasfarisham 2014, 2019).

#### PROSEDUR PENYERBUKAN SAMPEL UNTUK ANALISIS XRF

Setiap sampel yang akan menjalani analisis XRF ianya akan dikeringkan terlebih dahulu selama beberapa jam bagi menghilangkan kelembapan pada sampel. Selepas itu sampel berkenaan akan dimasukkan ke dalam mangkuk pengisar bersama dengan bola pengisar untuk tujuan menghaluskan partikel sampel. Sampel tersebut akan dimasukkan ke dalam mangkuk pengisar dan diletakkan mangkuk pengisar ke dalam fixture mesin pengisar. Selepas itu mesin tersebut perlu dikunci dengan menggunakan alat pengunci dan diletakkan dengan menggunakan sepana sehingga slinder keselamatan fixture mesin berwarna hijau. Setelah selesai sampel tersebut dikeluarkan daripada mangkuk dan dimasukkan ke dalam plastik dan dilabelkan. Selepas itu mangkuk pengisar tersebut perlu dicuci sehingga kesan-kesan penggunaan sampel dibersihkan serta dikeringkan (Mohd Hasfarisham 2014, 2019).

#### PROSEDUR PENYEDIAAN KEPING KACA TERLAKUR

1. Sebelum analisis XRF dimulakan ketuhar perlu dipanaskan sekurang-kurangnya satu jam sehingga suhu mencapai 105°C.
2. Serakkan 1-2 gram sampel di atas piring petri yang bersih dan kering menggunakan spatula. Piring petri tersebut dimasukkan ke dalam ketuhar dan dipanaskan selama satu jam pada suhu 105°C. Selepas itu sekeping kertas diletakkan di atas piring neraca dan disetkan neraca berkenaan kepada mod *tare*. Sebanyak 0.5 gram  $\pm$  0.0001 gram serbuk sampel dari desikator diserakkan ke atasnya dengan menggunakan spatula.
3. Serbuk spektrofleks daripada botol ditimbang dengan kadar nisbah 5g  $\pm$  0.0001gram. Kemudian sampel berkenaan dipindahkan sepenuhnya dengan perlahan-lahan ke dalam mangkuk pijar Pt-Au yang kering dan bersih.
4. Serbuk spektrofleks dicampurkan bersama-sama dengan sampel di dalam mangkuk pijar Pt-Au dan digaulkan sehingga benar-benar homogen. Letakkan mangkuk pijar berisi campuran sampel-spektrofleks pada tempat

pemanasannya di dalam mesin automatik penyedia keping kaca terlakur.

5. Mangkuk pijar yang berisi campuran sampel-spektrofleks diletakkan pada tempat pemanasan di dalam mesin penyediaan keping kaca terlakur automatik.
6. Setkan perisian kepada Program 1 yang akan membakar campuran sampel-spektrofleks pada 1100°C selama 25 minit, termasuk menggerakkan mangkuk pijar ke beberapa arah supaya leburan betul-betul homogen. Selepas 25 minit, penuangan ke atas acuan Pt-Au akan dilakukan oleh mesin, diikuti siri penyejukan. Keluarkan keping terlakur yang telah siap dengan mengelakkan menyentuh bahagian yang akan dianalisis.
7. Bahagian label akan ditulis dengan maklumat seperti tarikh, nombor sampel, nisbah pencairan (misalnya 1:10) dan nilai L.O.I sampel (jika ada).
8. Masukkan sampel ke dalam plastik dan simpan di dalam desikator hingga masa untuk dianalisis. Bersihkan mangkuk pijar Pt-Au dengan mengisinya dengan asid sitrik 20% dan pembasuhan ultrasonik selama 5 minit.
9. XRF dapat menganalisis sampel dalam tiga bentuk iaitu pepejal, serbuk dan cecair dan lebih dikenali kaedah terkelas kerana proses XRF tidak mencacatkan sampel yang dianalisis.

#### PROSEDUR PENYEDIAAN KEPING SERBUK TERTEKAN

1. Ketuhar dihidupkan sekurang-kurangnya selama satu jam sehingga suhu stabil pada suhu 105°C.
2. Selepas itu sebanyak 2-3 gram serbuk sampel diserakkan di atas piring petri yang bersih dan kering menggunakan spatula. Piring petri tersebut kemudiannya dimasukkan ke dalam ketuhar yang telah dipanaskan tadi pada suhu 105°C.
3. Selepas satu jam, keluarkan mangkuk petri, biarkan sejuk udara beberapa minit sebelum disimpan di dalam desikator untuk kerja selanjutnya.
4. Sekeping kertas penimbang diletakkan di atas piring neraca dan setkan neraca kepada mod *tare*. Serakkan serbuk sampel dari desikator ke atas kertas penimbang sebanyak 1.5g  $\pm$  0.0001gram dengan menggunakan spatula.
5. Langkah (4) diulangi dengan menimbang 5.5g  $\pm$  0.0001g serbuk asid borik hipertulen.

6. Selepas itu bahan perekat ditimbang dengan purata  $0.1g \pm 0.0001$  gram sama seperti langkah (4).
7. Pindahkan serbuk sampel ke atas sebuah mangkuk petri lain yang bersih dan kering. Dengan menggunakan spatula, gaulkan keseluruhan sampel dan perekat beberapa minit sehingga betul-betul homogeni.
8. Penyediaan peralatan bagi membuat keping serbuk tertekan dilakukan dengan membersihkan permukaan *die* dan memasukkan silinder plastik lompong ke dalam alat sehingga ia menyentuh rapat *die* berkenaan.
9. Sampel tersebut dipindahkan dengan perlahan-lahan seperti langkah (7) ke dalam dasar silinder plastik lompong dengan menggunakan spatula dan diratakan.
10. Masukkan batang plastik pengasak ke dalam silinder plastik lompong dan tekan dengan kekuatan tangan untuk mengemaskan sampel. Apabila langkah tersebut selesai maka pengasak tersebut dikeluarkan.
11. Dengan perlahan-lahan dan berhati-hati tarik keluar silinder plastik lompong supaya "bukuan" sampel berbentuk bulat dengan ruang sama tebal di kelilingnya tidak runtuh dan berada di tengah-tengah *die*.
12. Serbuk borik dipindahkan secara perlahan-lahan ke dalam ruang sampel. Proses tersebut dimulakan dengan mengisi serbuk asid borik di sekeliling sampel dan diikuti di bahagian atas sampel. Dengan menggunakan spatula, asid borik berkenaan diratakan.
13. Masukkan batang keluli pelantak ke dalam alat, letakkan pada mesin penekan hidraulik. Kenakan tekanan 5 tan untuk beberapa saat dan lepaskan semula tekanan. Kenakan tekanan 15 tan dan tunggu selama 1 minit sebelum melepaskan tekanan.
14. Bahagian tapak alat pembuat keping serbuk tertekan dikeluarkan bagi memudahkan proses mengeluarkan sampel yang telah siap tersedia.
15. Bahagian belakang sampel dilabelkan (permukaan asid borik) dengan butir-butir seperti tarikh, nombor sampel dan nilai L.O.I sampel (jika ada).
16. Sampel berkenaan kemudiannya dimasukkan ke dalam plastik serta dimasukkan ke dalam desikator sehingga masa untuk dianalisis.
17. Selepas itu peralatan yang digunakan semasa menghasilkan keping serbuk tertekan dibersihkan bagi memudahkan penyediaan sampel berikutnya.

#### ANALISIS PENGENALPASTIAN ATRIBUT ATAP GENTING

Atap genting yang ditemui di tapak jeti dan syahbandar telah dijalankan analisis kuantitatif (Jadual 1) bagi mengumpulkan data atribut artifak berkenaan. Berdasarkan analisis jelas mendapati saiz maximum atap genting yang direkodkan di Kompleks Arkeologi Sungai Batu adalah sekitar 180 mm panjang, 110 mm lebar dan tebal sekitar 11 mm. Malah hasil ekskavasi mendedahkan sekurang-kurangnya terdapat dua jenis rupa bentuk atap genting yang ditemui di tapak jeti dan syahbandar iaitu berbentuk gelombang (*wave*) dan *zig zag* (Rajah 7).

JADUAL 1. Analisis sampel atap genting di tapak jeti dan Syahbandar di Kompleks Arkeologi Sungai Batu

TAPAK	PETAK/SPIT	BERAT (g)	PANJANG (mm)	LEBAR (mm)	Tebal (MM)	ASOSIASI
JETI						
SB1H	R9/5	12	49.18	26.38	8.21	Lantai
SB1K	h15/5	6	36.7	31.87	6.1	Lantai
SB1L	a24/4	23	52.36	46.16	10.17	Lantai
SB1Y	K22/4	14	52.76	42.8	5.9	Koridor
SB2B	K16/4	3	35.09	27.82	5.08	Lantai
SB2D	d21/3	36	180	110	11	Lantai
SB2E	F23/4	12	40.21	27.59	7.48	Koridor

*bersambung ...*



... sambungan

SYAHBANDAR						
SB1M	W21/3	5	35.09	29.36	4.59	Lantai
SB1N	G14/2	23	52.82	29.27	10.06	Lantai
SB1P	P14/3	7	29.89	23.03	7.48	Lantai
SB1R	H21/4	11	37.02	32.95	6.76	Lantai
SB1S	K13/4	15	44.76	38.1	8.49	Lantai
SB2G	S42/4	12	41	32.47	9.62	Lantai
SB2ZZ	n13/3	7	31.11	25.28	10.04	Lantai
SB2ZX	E1/4	10	43.41	23.18	8.39	Lantai



RAJAH 7. Morfologi atap genting berbentuk *wave* (a) dan *zig zag* (b) yang ditemui di tapak jeti dan syahbandar di Kompleks Arkeologi Sungai Batu (selepas Mohd Hasfarisham 2019)

Atap genting tersebut telah dilubangkan di bahagian hujungnya bagi tujuan ikatan untuk penstabilan struktur bumbung (Mohd Hasfarisham 2014). Berkemungkinan penyelak atau ikatan daripada bahan semula jadi digunakan bagi tujuan ikatan struktur bumbung berkenaan (Mohd Hasfarisham 2014). Ini kerana ekskavasi pada 11 tapak jeti dan 17 syahbandar sehingga kini tidak ditemukan paku yang digunakan sebagai penyelak struktur bumbung.

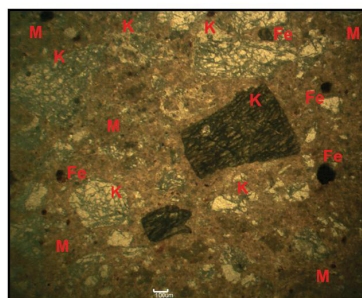
#### ANALISIS SAINTIFIK ATAP GENTING

Sebanyak tujuh sampel atap genting daripada tapak jeti dan lapan dari monumen syahbandar telah dipilih dalam analisis saintifik atap genting menggunakan kaedah petrografi, *XRD* dan *XRF*. Tujuan utama analisis ini dijalankan bagi mengetahui secara jitu

teknologi penghasilan dan pembakaran atap genting di Kompleks Arkeologi Sungai Batu sejak kurun keenam Sebelum Masihi khususnya.

#### ANALISIS PETROGRAFI

Analisis petrografi atau keratan nipis yang dilakukan ke atas atap genting telah mengukuhkan interpretasi atap genting berkenaan dihasilkan daripada tanah liat berdasarkan kehadiran mineral kuarza, lempung dan ferum yang ada dalam kandungan atap genting (Rajah 8). Mineral tersebut bersaiz sehingga melebihi 100  $\mu\text{m}$  di bawah analisis mikroskop. Mineral tersebut ada yang berbentuk semi bulatan dan bersegi empat. Analisis yang dilakukan di bawah mikroskop optik ini jelas memperlihatkan struktur mineral kuarza telah mengalami tekanan yang menyebabkan mineral kuarza tersebut menjadi retak dan pecah (Iklil Izzati 2014).



RAJAH 8. Analisis petrografi atap genting menunjukkan adanya mineral kuarza (K), ferum (Fe) dan lempung sebagai matrik selain ada bukti retakan pada mineral kuarza yang menjadi petanda proses ketukan telah dijalankan sebelum ia diuli menjadi atap genting.

Sumber: Koleksi PPAG

Hal ini terjadi berkemungkinan disebabkan oleh proses tumbukan ke atas tanah liat semasa proses menguli telah dilakukan sebelum ianya dibentuk menjadi atap genting. Oleh yang demikian analisis petrografi atap genting berkenaan berupaya memberikan maklumat berkaitan peringkat kerja dalam penghasilan atap genting itu sendiri yang perlu menjalani teknik tumbukan terlebih dahulu sebelum tanah liat diuli dan dibentuk menjadi atap genting dan dibakar.

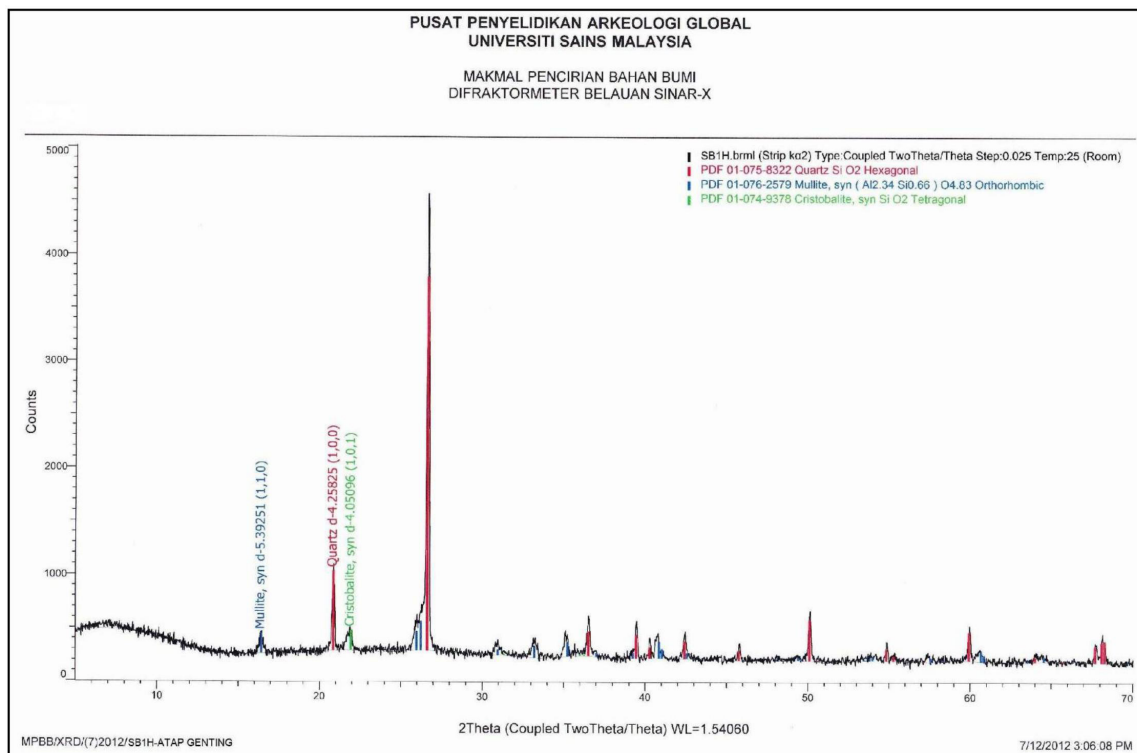
#### ANALISIS BELAUAN SINAR-X (XRD) ATAP GENTING

Atap genting yang ditemui di tapak jeti dan syahbandar di Kompleks Arkeologi Sungai Batu turut dijalankan analisis Belauan Sinar-X bagi mengukuhkan analisis petrografi yang telah dijalankan. Hasil analisis XRD telah mendedahkan mineral seperti kuarza, montmorilonit, mulit dan kristobolit. Kehadiran mineral bertekanan tinggi seperti mulit dan kristobolit (Rajah 9) menggambarkan teknologi pembakaran sehingga mencapai suhu setinggi 1400 °C telah dikenakan ke atas atap genting berkenaan yang menyebabkan

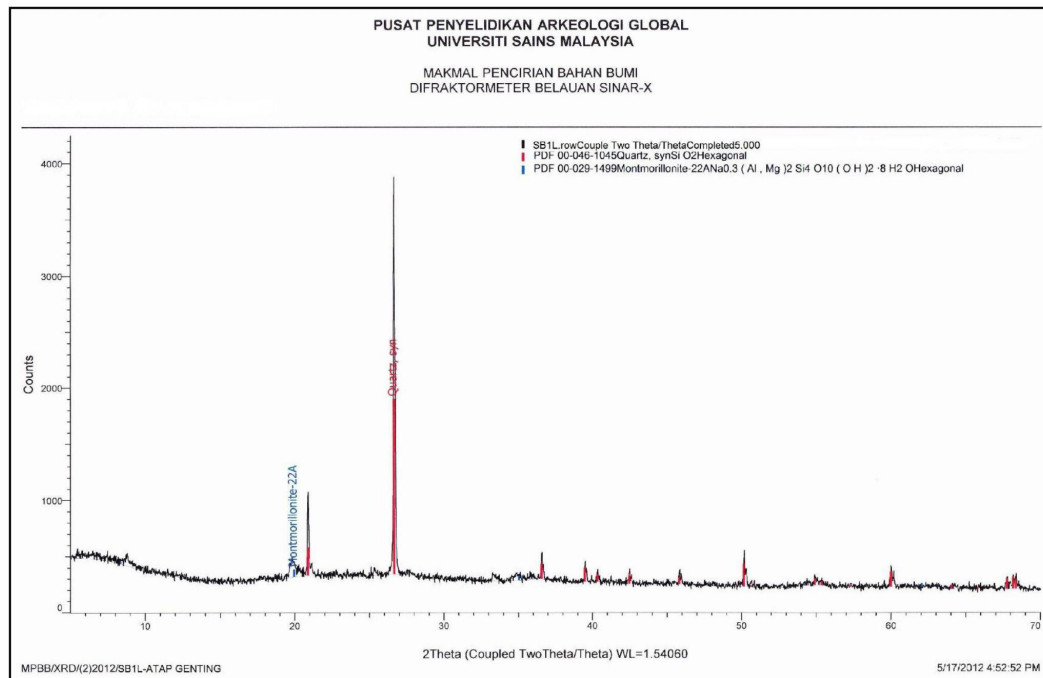
mineral kaolonit dan montmorilonit telah bertukar kepada metakaolin (Grim 1992; Wan Fuad dan Kadderi 1995; Carty dan McConvill 2001).

Selain itu, terdapat atap genting yang masih mendedahkan kandungan kuarza dan montmorilonit (Rajah 10) yang mendedahkan berlakunya ketidakseragaman suhu semasa pembakaran atap genting berkenaan. Ketidakseragaman suhu berkenaan menyebabkan mineral kuarza dan montmorilonit masih kekal pada atap genting tanpa merubah mineral berkenaan kepada mineral bertekanan tinggi yang memerlukan suhu pembakaran setinggi 1400 °C (Rajah 11) bagi membolehkan tindak balas kimia terjadi (Shackelford dan Doremus 2008).

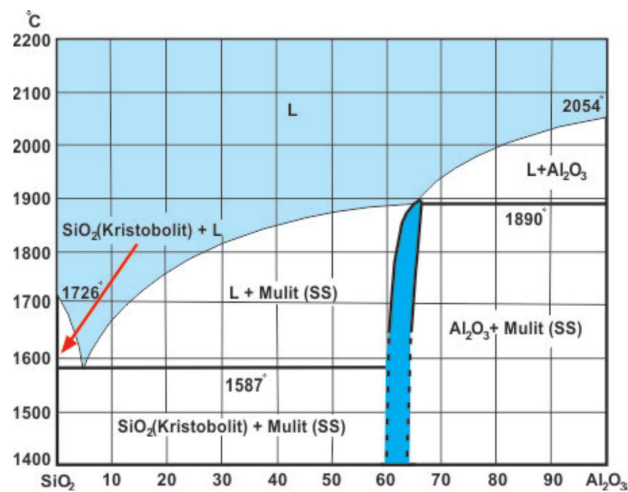
Berdasarkan analisis XRD jelas memperlihatkan ada sebahagian atap genting menerima tekanan suhu tinggi semasa proses pembakarannya dan sebahagian yang lain masih menerima suhu optimum yang membolehkan mineral kuarza dan montmorilonit masih kekal di dalam atap genting. Berkemungkinan atap genting tersebut dibakar di dalam relau bagi membolehkan suhu setinggi 1400 °C dicapai (Ahmad Fadly et al. 2013).



RAJAH 9. Analisis XRD mendedahkan kandungan mineral bertekanan tinggi dalam atap genting yang dianalisis (selepas Mohd Hasfarisham 2019)



RAJAH 10. Analisis XRD atap genting turut mendedahkan mineral kuarza dan montmorilonit masih kekal dalam sampel yang jelas menunjukkan ketidakseragaman suhu terjadi semasa proses pembakaran (selepas Mohd Hasfarisham 2019)



RAJAH 11. Suhu bertekanan tinggi diperlukan bagi merubah mineral koalinit dan montmorilonit kepada mulit dan kristobolit (selepas Baker 1992)

Menurut Sedat et al., (2006) menerusi eksperimennya mendapati pembakaran terbuka membolehkan suhu pembakaran mencapai sekitar 1100 °C yang mengukuhkan pandangan atap genting tersebut telah dibakar di dalam relau untuk dijadikan bahan siap. Kajian Nor Hidayah (2014) mendedahkan bahawa suhu antara 1000 °C sehingga 1080 °C diperlukan dalam proses pembakaran atap genting supaya pembakaran menjadi matang. Apabila proses pembakaran tidak sempurna dan matang maka atap genting akan mudah pecah dan

tidak tahan lama untuk menyokong peranannya sebagai penutup bumbung dalam sesebuah rupa bentuk seni bina.

#### ANALISIS PENDARFLOUR SINAR-X (XRF) ATAP GENTING

Analisis XRF unsur utama atap genting mendedahkan nilai kelimpahan dan kepekatan yang tinggi bagi kandungan silikon dioksida (SiO<sub>2</sub>) dan aluminium oksida (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Atap genting yang dianalisis ini

turut mendedahkan kandungan ferum oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Menurut Bailey (1963), kandungan ferum oksida dalam atap genting telah digunakan sebagai ejen pewarnaan bagi atap genting berkenaan. Selain itu, hasil analisis ini turut mendedahkan kelimpahan yang rendah Kalium dioksida ( $\text{K}_2\text{O}$ ), Kalsium dioksida ( $\text{CaO}$ ), Titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ), Magnesium oksida ( $\text{MgO}$ ), Mangan oksida ( $\text{MnO}$ ), Sodium oksida ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) dan Potasium oksida ( $\text{P}_2\text{O}_5$ )

yang mengesahkan ia dihasilkan daripada tanah liat (Jadual 2). Kajian analisis XRF bagi sampel tembikar tanah (Mohd Hasfarisham dan Mokhtar 2018) dan bata oleh Ahmad Fadly et al. (2013) turut mendedahkan hasil analisis yang sama yang juga menjelaskan bahan asas tanah liat yang sama iaitu di sekitar Sungai Batu telah diambil bagi menghasilkan artifak berkenaan.

JADUAL 2. Hasil analisis XRF unsur utama pada sampel atap genting

NO. SAMPEL	KANDUNGAN UNSUR (%)									
	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{CaO}$	$\text{TiO}_2$	$\text{MgO}$	$\text{MnO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{P}_2\text{O}_5$
1	63.41	28.54	4.67	0.62	0.06	1.22	1.48	0.05	0.05	0.03
2	57.86	35.58	3.50	0.54	0.03	0.77	1.73	0.05	0.05	0.05
3	65.05	18.60	4.01	1.04	0.06	0.91	0.80	0.01	0.14	0.04
4	62.22	18.08	5.95	1.02	0.05	0.91	0.76	0.01	0.14	0.03
5	60.02	18.55	6.40	0.99	0.04	0.92	0.63	0.01	0.13	0.04
6	60.30	20.16	3.70	0.80	0.06	1.17	0.23	0.01	0.10	0.05
7	64.56	18.07	3.59	0.96	0.09	0.90	0.69	0.01	0.12	0.03
8	62.69	17.67	5.79	0.99	0.07	0.89	0.74	0.01	0.15	0.03
9	68.73	16.78	2.55	0.93	0.03	0.87	0.66	0.01	0.11	0.03
10	61.23	18.30	5.79	0.91	0.05	0.82	0.89	0.12	0.15	0.03
11	67.51	17.92	3.02	1.00	0.04	0.82	0.77	0.01	0.11	0.04
12	59.89	20.79	4.94	1.05	0.04	1.04	0.28	0.01	0.12	0.05
13	59.95	19.67	5.85	0.89	0.04	0.96	0.60	0.01	0.13	0.04
14	59.56	19.26	6.33	1.06	0.06	1.06	0.25	0.01	0.15	0.04
15	59.90	19.15	5.21	0.92	0.04	0.93	0.66	0.01	0.12	0.05

Analisis XRF unsur utama turut mendedahkan kelimpahan Magnesium oksida ( $\text{MgO}$ ) dalam purata 0.23 sehingga 1.17 % yang mencadangkan ada kandungan berkapur dalam bahan asas pembuatan atap genting berkenaan (Mohd Hasfarisham 2019). Bahan asas daripada Formasi Mahang yang juga mempunyai unsur berkapur dicadang digunakan dalam penghasilan atap genting berkenaan terutama di sekitar Sungai Merbok dan cawangannya (Bean 1969; Almashoor 1973; Courtier 1974) yang berada berdekatan dengan Kompleks Arkeologi Sungai Batu.

Hasil analisis XRF unsur surih (Jadual 3) pula mendedahkan kandungan mineral besi dalam sampel atap genting. Ini menunjukkan atap genting yang dihasilkan di Kompleks Arkeologi Sungai Batu mempunyai unsur besi yang membolehkan ia bertukar kepada perang kekuningan (10YR, 5/6) apabila dibakar. Oleh yang demikian analisis XRF ini mendedahkan atap genting tersebut dihasilkan menggunakan tanah liat yang mempunyai kandungan berkapur dan logam besi di sekitar Kompleks Arkeologi Sungai Batu itu sendiri.



JADUAL 3. Analisis XRF unsur surih atap genting Kompleks Arkeologi Sungai Batu

UNSUR%	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
As	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	60	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	40	Bdl
Ba	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	140	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	Bdl
Br	10	20	20	20	20	20	20	bdl	10	10	20	20	20	10	20
Ce	bdl	150	bdl	bdl	bdl	280	bdl	bdl	190	200	bdl	170	bdl	150	Bdl
Cl	320	430	310	1540	240	190	400	360	320	290	750	360	220	260	310
Co	bdl	1550	bdl	bdl	Bdl	bdl	bdl	bdl	250	1,700	2,410	1,990	bdl	1,410	Bdl
Cr	110	110	140	130	150	150	100	140	130	130	140	120	130	130	150
Cu	50	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	40	bdl	30	40	bdl	30	30	bdl	Bdl
F	580	1210	bdl	670	bdl	bdl	720	bdl	bdl	1,000	690	730	bdl	bdl	600
Ga	30	40	150	30	270	20	20	bdl	340	270	310	220	350	240	20
Nb	20	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	20
Ni	60	40	50	60	40	bdl	50	bdl	60	60	50	50	bdl	bdl	50
Pb	60	110	90	60	50	60	70	100	80	110	130	100	70	40	30
Rb	90	100	90	50	90	60	100	90	70	80	60	80	50	70	80
Ti	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	20	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	10
Y	20	30	20	40	20	20	20	10	20	20	30	20	30	20	20
Zn	40	40	50	30	40	50	30	60	50	40	60	50	40	40	50
Zr	260	280	250	400	290	270	270	250	280	240	280	270	300	280	250

Bdl: Di bawah had pengesanan

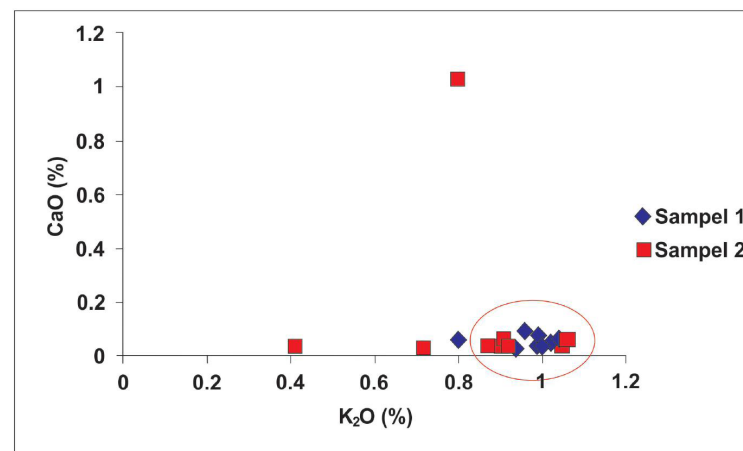
Analisis XRF unsur surih (Jadual 3) juga mendedahkan kandungan beberapa mineral logam selain ferum (F) terkandung pada sampel atap genting. Logam tersebut adalah nikel (Ni), zink (Zn), rubidium (Rb), plumbum (Pb), kuprum (Cu), galium (Ga), serium (Ce), kromium (Cr) dan Kewujudan unsur tersebut juga merupakan petunjuk tanah aluvium yang digunakan sebagai bahan asas pembuatan bata berkenaan juga mempunyai kandungan organik yang tinggi (Bucher et al. 1989; Sahibin dan Mohamad 1997; Sadang Husin et al. 2016).

Ini kerana tanah yang mengandungi pH tanah, kandungan bahan organik, bahan amarfus, mineral lempung dan bahan berkapur yang tinggi mempunyai keupayaan menyerap logam berat yang baik (Bucher et al. 1989; Sahibin dan Mohamad, 1997; Sadang Husin et al. 2016). Tambahan pula percampuran antara tanah aluvium dan tanah berkapur juga meninggikan kandungan logam berat dalam tanah (Sahibin et al. 2001). Ini menunjukkan kemungkinan sumber bahan asas daripada Formasi

Mahang yang mempunyai unsur berkapur telah dijadikan sumber bahan asas kepada pembuatan atap genting di Kompleks Sungai Batu.

Bagi mengukuhkan data tersebut maka graf CaO melawan  $K_2O$  (Rajah 12) diplot bagi menunjukkan taburan atap genting berdasarkan unsur utamanya. Mineral CaO melawan  $K_2O$  dipilih untuk dijalankan analisis ini bertujuan membezakan setiap sampel berdasarkan unsur utamanya bagi membolehkan maklumat berkaitan bahan asas pembuatannya ditentukan adakah daripada sumber yang sama atau tidak.

Berdasarkan graf tersebut memperlihatkan bahan asas yang digunakan untuk menghasilkan atap genting berkenaan diambil daripada sumber yang sama berikutan adanya pertindihan CaO dan  $K_2O$  antara sampel atap genting. Oleh yang demikian analisis saintifik telah berupaya mengesahkan teknologi pembuatan atap genting di Kompleks Arkeologi Sungai Batu yang secara khususnya memperlihatkan kearifan tempatan masyarakat lebur besi di kawasan ini.



RAJAH 12. Graf CaO melawan K<sub>2</sub>O bagi atap genting yang menunjukkan ia dihasilkan menggunakan bahan asas yang sama

## KESIMPULAN

Temuan atap genting di tapak jeti dan syahbandar di Kompleks Arkeologi Sungai Batu membolehkan teknologi pembuatan dan pembakaran dikenal pasti dan diidentitikan. Berdasarkan analisis petrografi, XRD dan XRF jelas mendedahkan atap genting ini dihasilkan menggunakan tanah liat di sekitaran Kompleks Arkeologi Sungai Batu yang ditumbuk terlebih dahulu sebelum diuli dan dibakar pada suhu sehingga 1400 °C.

Teknologi pembuatan dan penghasilan sebegini membolehkan atap genting mampu bertahan sehingga kini walaupun telah menjangkau lebih 2,000 tahun. Temuan atap genting ini turut membolehkan data baru diperoleh berkaitan jangka hayat atap genting ini lebih lama daripada 150 tahun jika pentarikhan tapak Sungai Batu diambil kira. Pengoksidaan yang sempurna semasa pembakaran membolehkan atap genting di Kompleks Arkeologi Sungai Batu mampu bertahan dalam jangka masa yang lama dan sehingga kini ia masih dalam keadaan baik walaupun struktur bumbung di tapak jeti dan syahbandar telah lama runtuh.

## PENGHARGAAN

Kajian ini dijalankan di bawah geran “Kajian Arkeologi Sungai Batu (1001/PARKEO/870007)”. Ucapan terima kasih ditujukan kepada Dato’ Profesor Dr. Mokhtar Saidin, Pensyarah Pusat Arkeologi Sungai Batu atas tunjuk ajar, bimbingan dan nasihat ketika kajian ini berlangsung. Selain itu, bantuan daripada staf dan rakan penyelidik yang terlibat secara langsung dan tidak langsung di dalam penyelidikan ini turut diucapkan ribuan terima kasih.

## RUJUKAN

- Adit, S. 1994. Kelantan: Perusahaan Membuat Bata Atap Di Kampung Pengkalan Petah 1950-an-1970-an. *Jurnal Persatuan Muzium Malaysia*: 83-98.
- Ahmad Fadly Jusoh, Nur Izzati Hazlina Marudin, Sairul Ramli, Abdul Mutalib Abdullah, Nurashiken Ahmad, Hamzah Mohamad, Mokhtar Saidin, Stephen Chia dan Jeffrey Abdullah. 2013. Aplikasi Teknik XRD Dalam Kajian Arkeologi: Penentuan Suhu Pembakaran Dalam Teknologi Pembuatan Bata dan Atap Genting Di Tapak Arkeologi Sungai Batu, Kedah. *Prosiding Seminar Kebangsaan Teknologi Makmal Ke-11 (SKETMA)*. 25-28 Ogos 2013, 1-6.
- Aiping, G. & Jiangbo, W. 2010. The Development of Roof Color in Ancient China. *Color Research & Application* 35(4): 246-266.
- Almashoor, S.S. 1973. Geology of Gunung Jerai. Tesis Sarjana. Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Bailey, S.W. 1963. Polymorphism of The Kaolin Minerals. *American Mineralogist* 48(11-12): 1196-1209.
- Baker, H. 1992. *ASM Handbook, Alloy Phase Diagrams*. ASM International, Materials Park, Ohio, 3: 1-800.
- Bean, J.H. 1969. The Iron-Ore Deposits of West Malaysia. *Economic Bulletin 2*, Geological Survey, West Malaysia: 1-194.
- Buchter, B., Davidoff, B., Amacher, M.C., Hinz, C., Iskandar, I.K. & Selim, H.M. 1989. Correlation of Freundlich Kd and n Retention Parameters With Soils and Element. *Soil Science* 148(5): 370-379.
- Carty, W.M. & McConvill, C.J. 2001. Thermal Transformations in Kaolonite Clays Mineral. Dalam: Carty, W.M. (ed). *Materials and Equipment and Whitewares: Ceramic Engineering and Science Proceedings* 2(22): 149-160.
- Courtier, D.B. 1974. Geology and Mineral Resources of The Neighbourhood of Kulim, Kedah. *Geological Survey of Malaysia Map Bulletin* 3.
- Grim, R.E. 1992. *Mineralogi Lempung*. Terj. Tuan Besar Tuan Sarif dan Radzali Othman. Pulau Pinang: Penerbit Universiti Sains Malaysia.
- Hamari, P. 2017. The Roofscapes of Petra: The Use of Ceramic Roof Tiles in A Nabataean-Roman Urban Context. Dalam: Rajala, U. dan Mills, P. (eds). *Forms of Dwelling 20 Years of Taskscapes in Archaeology*. Oxford: Oxbow Books: 85-113.

- Hilger, L. 2016. Vietnam's First City at the Site of Co Loa, Researchers Are Examining The Foundations of Power in Southeast Asia. *England: Stronghold of The King in The North Archaeology*: 48-53.
- Iklil Izzati Zakaria. 2014. *Kajian Arkeologi Di Tapak Jeti SB2B dan SB2D, Kompleks Sungai Batu, Lembah Bujang*. Tesis Sarjana. Universiti Sains Malaysia.
- Lyndon, A. Arden-Wong, Irina, A. Arzhantseva & Olga N. Inevatkina. 2015. Reflecting on The Rooftops of The Eastern Uighur Khaganate: A Preliminary Study of Uighur Roof Tiles. *Sino Platonic Papers*. University of Pennsylvania, USA: 1-75.
- Mohd Hasfarisham Abd Halim. 2019. Sumbangan Kajian Di Tapak SB1Y, SB2G, SB2J dan SB2ZZ Kepada Bukti Seni Bina Pelabuhan Di Kompleks Sungai Batu, Lembah Bujang, Kedah. Tesis Kedoktoran. Universiti Sains Malaysia.
- Mohd Hasfarisham Abd Halim & Mokhtar Saidin. 2018. XRD, XRF and SEM Analysis of Potsherds, Sungai Batu Complex, Bujang Valley, Kedah. *Warta Geologi* 44(3): 229-240.
- Mohd Hasfarisham Abd Halim. 2014. Ekskavasi Tapak Seni Bina Jeti SB2E, SB1H, SB1J, SB1K dan SB1L, Di Kompleks Sungai Batu, Lembah Bujang, Kedah. Tesis Sarjana, Universiti Sains Malaysia.
- Nasir, A. H. & Teh, H. H. W. 2011. *The Traditional Malay House*. Kuala Lumpur: Institut Terjemahan Negara Malaysia.
- Nor Hidayah Abdullah. 2014. Assessment On Production Quality of traditional Singgora Tiles in Malaysia. Tesis Sarjana Sains, Universiti Malaya.
- Priya, J. 2018. *Native Roofing Systems of South India: Processes and Material Heritage*. Diperoleh daripada World Wide Web: <http://www.sahapedia.org/native-roofing-system-of-south-india-processes-and-material-heritage>, Jumaat, 22/10/2021.
- Rawat, Y.S. 2011. Recently Found Ancient Monastery and Other Buddhist Remains at Vadnagar and Taranga in North Gujerat, India. Dalam: Chia, S. & Andaya, B.W. (eds). *Bujang Valley and Early Civilizations in South East Asia*: 210-241. Kuala Lumpur: Jabatan Warisan Negara.
- Mohd Hasfarisham Abd Halim, Ph.D  
Penyelidik Lapangan  
Kompleks Arkeologi Sungai Batu,  
Lembah Bujang, Kedah  
E-mail: mhasfarisham@gmail.com
- Mokhtar Saidin, Ph.D  
Pensyarah,  
Pusat Penyelidikan Arkeologi Global,  
Universiti Sains Malaysia,  
Pulau Pinang  
E-mail: mmokh@usm.my
- Diserahkan: 25 September 2021  
Diterima: 15 Disember 2021
- Sadang Husain, Eka Suarso, Akhiruddin Maddu & Sugianto 2016. Karakterisasi Kandungan Bijih Besi Alam Sebagai Bahan Baku Magnetit Nanopartikel. *Symposium Fisika Nasional*: 29: 146-150.
- Sahibin Abdul Rahim & Mohamad Md. Tan. 1997. Komposisi Unsur Major dan Unsur Surih Tanah Yang Terbentuk Di Daratan Pasang Surut Di Pulau Langkawi. *Borneo Science* 3: 53-64.
- Sahibin Abdul Rahim, Mohamad Md. Tan & Azimah Hussin. 2001. Komposisi Unsur Surih dan Major Di Dalam Tanah Di Sekitar Kawasan Bukit Batu Kapur Bukit Jernih, Kangar, Perlis. Kertas Kerja Yang Dibentangkan Di Geological Society of Malaysia Annual Geological Conference, Pulau Pangkor Perak, 02-03 Jun 2001.
- Salinger, R. 1997. The Making of Traditional Clay Roof Tiles or Genting. *Journal of The Malaysian Branch of The Royal Asiatic Society* 70(1): 101-109.
- Sapirstein, P. 2016. Origins and Design of Teracotta Roofs in The Seventh Century BCE. Dalam: Miles, M.M. (ed). *A Companion to Greek Architecture*: 46-59. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Sadat Karaman, Sabit Ersahin & Hikmet Gunal. 2006. Firing Temperature and Firing Time Influence On Mechanical and Physical Properties of Clay Brick. *Journal of Scientific & Industrial Research* 65: 153-159.
- Shackelford, F.J. & Doremus, R.H. 2008. *Ceramics and Glass Materials: Structure, Properties and Processing*. New York: Springer.
- Shamsul Anuar Aminuddin. 2015. *Kajian Arkeologi Di Tapak SB1M dan SB1N, Kompleks Sungai Batu, Lembah Bujang, Kedah*. Tesis Sarjana, Universiti Sains Malaysia.
- Shamsu Mohamad. 2013. Penambahbaikan Atap Singgora Dari Aspek Bahan Gunaan dan Reka Bentuk. Tesis Kedoktoran, Universiti Sains Malaysia.
- Shamsu Mohamad & Zulkifli Hanafi. 2011. Seni Bina Tradisi Pantai Timur Berbumbungkan Atap Singgora. Kertas Kerja Yang Dibentangkan Di Seminar Antarabangsa Warisan Nusantara, Sekolah Pengajian Seni, Universiti Malaysia Sabah, Sabah, 9-11 Disember 2011.
- Shamsu Mohamad & Zulkifli Hanafi. 2012. Atap Singgora-Penambahbaikan Dari Aspek Reka Bentuk. Kertas Kerja Yang Dibentangkan Di Seminar Kearifan Tempatan, Pulau Jerejak, Pulau Pinang, 14-16 Oktober 2012.
- Sharon, W.W.Y., Darith, E., Rachna, C. & Suy, T.B. 2020. Two Traditions: A Comparison of Roof Tile Manufacture and Usage in Angkor and China. *Asian Perspectives* 60(1): 128-156.
- Wan Fuad Wan Hassan & Kadderi Md. Desa. 1995. *Mineralogi Konsep Pemerihalan dan Penentuan*. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka, Kementerian Pendidikan Malaysia.
- Wikander, O. 1988. Ancient Roof Tile-Use and Function. *Opuscula Atheniensia* 17(15): 203-216.
- Zulkifli, H. 1996. *Pembinaan Bangunan Tradisional Melayu*. Perpustakaan Negara Malaysia, Malaysia, Amber-Salora Publication.