

ANALISIS DIFRAKTOMETER BELAUAN SINAR-X (XRD) BATA DAN ATAP GENTING MONUMEN JETI DAN PENGURUSAN PELABUHAN SB2ZZ DI KOMPLEKS ARKEOLOGI SUNGAI BATU (KASB), LEMBAH BUJANG, KEDAH

MOHD HASFARISHAM ABD HALIM^{1*}, NOR KHAIRUNNISA TALIB^{2*}, AHMAD FADLY JUSOH², SHYEH SAHIBUL KARAMAH MASNAN² DAN MOKHTAR SAIDIN³

¹Kampung Permatang Samak, 08100 Bedong, Kedah, Malaysia. ²Pusat Penyelidikan Arkeologi Global, Universiti Sains Malaysia, 11800 Minden, Pulau Pinang, Malaysia. ³Taman Lagenda Height, 08000 Sungai Petani, Kedah, Malaysia.

*Corresponding authors: mhasfarisham@gmail.com, yasa852003@yahoo.com <http://doi.org/10.46754/jssm.2024.07.008>
Received: 21 April 2022 Accepted: 23 April 2024 Published: 15 July 2024

Abstrak: Kajian arkeologi yang dijalankan di tapak jeti dan pengurusan pelabuhan di Kompleks Arkeologi Sungai Batu (KASB) sejak tahun 2009 telah berupaya mendedahkan struktur binaan bangunan yang dibina sepenuhnya daripada bata. Struktur monumen tersebut juga berbumbung berdasarkan penemuan pelapik tiang dan atap genting di dalam tapak berkenaan. Bagi mendapatkan data primer berkaitan dengan bahan asas yang digunakan dalam proses pembuatan bata, atap genting serta pembinaan monumen berkenaan, maka analisis Difraktometer Belauan Sinar-X (XRD) telah dijalankan terhadap 45 sampel bata dan 15 sampel atap genting terutamanya di tapak jeti dan pengurusan pelabuhan SB2ZZ. Hasil analisis berkenaan kemudiannya dibandingkan dengan analisis sampel tanah yang diambil di bahagian tebing Sungai Kuno di dalam KASB. Berdasarkan perbandingan analisis, dicadangkan bahawa bahan asas yang digunakan untuk menghasilkan bata dan atap genting tersebut diambil di sekitar Sungai Batu itu sendiri yang mengukuhkan pandangan berkaitan dengan penggunaan bahan asas tempatan dalam proses penghasilan bata dan atap genting bagi kerajaan Kedah Tua. Teknologi pembakaran bata dan atap genting juga berjaya diklasifikasikan berdasarkan kandungan mineral yang terdapat dalam artifak berkenaan yang secara amnya dibakar sekitar suhu 550-1,400°C.

Kata Kunci: Difraktometer Belauan Sinar-X (XRD), bata, atap genting, teknologi, bahan asas tempatan.

X-RAY DIFFRACTOMETER (XRD) ANALYSIS OF BRICKS AND ROOF TILES OF JETTY AND PORT MANAGEMENT STRUCTURES SB2ZZ AT SUNGAI BATU ARCHAEOLOGICAL COMPLEX, BUJANG VALLEY, KEDAH

Abstract: Archaeological studies conducted at the jetty and port management sites at the Sungai Batu Archaeological Complex since 2009 have been able to reveal the structure of the building, which is built entirely of brick. The monument's structure is also roofed based on the findings of the pillar base and roof tiles at the site. To obtain primary data related to the raw materials used in the brick, roof tiled-making process, and construction of the monument, X-ray diffractometer (XRD) analysis was conducted on 45 brick and 15 roof tiled samples at the jetty and port management site, SB2ZZ. The results were then compared with the analysis of soil samples obtained on the riverbanks of the ancient Sungai Kuno. Based on the comparison of the analyses, it is suggested that the raw materials used to produce bricks and roof tiles are taken in the vicinity of Sungai Batu itself, which strengthens the view related to the use of local materials in the production process of bricks and roof tiled for the Ancient Kedah Kingdom. The technology of burning brick and roof tiled has also been successfully classified based on the mineral content present in the artefacts, which are generally burned at a temperature of 550-1,400°C.

Keywords: Sungai Batu, brick, roof tiled, Ancient Kedah Kingdom, local materials.

Pengenalan

Hasil kajian oleh Zuliskandar dan Nik Hassan Suhaimi (2013), Zuliskandar *et al.* (2011; 2012a, b; 2013a, b, c, d; 2018), Shamsul Anuar (2015), Abdul Mutalib *et al.* (2018), Ratnah *et al.* (2020) dan Nini Havela *et al.* (2022) telah memperoleh maklumat berkaitan dengan bahan asas pembinaan candi, jeti serta pengurusan pelabuhan Kedah Tua. Kajian mereka telah membuktikan wujudnya kearifan tempatan oleh masyarakat Kedah Tua dalam usaha mengeksploitasi bahan asas tempatan yang terdapat di sekitar bumi tersebut. Sumber itu kemudiannya dimanfaatkan sebagai bahan asas binaan monumen berkenaan. Kajian oleh Low (1848, 1849), Irby (1905a, b), Evans (1922), Sullivan (1958), Peacock (1980), Lamb (1959), Leong Sau Heng (1973), Allen (1988), Nik Hassan Shuhaimi (1984), Adi (1991), Kamaruddin (1989) dan Mokhtar (2022; 2023) juga telah membuka laluan awal bagi pengkaji seterusnya untuk melengkapkan kelengkapan data yang masih tertinggal terutama dari segi material binaan monumen yang telah ditemui. Penyelidikan arkeologi yang dijalankan sejak era 1840-an sehingga sebelum tahun 2011 belum merekodkan data primer berkaitan dengan bahan asas binaan monumen Kedah Tua secara holistik. Oleh yang demikian, wujud kelengkapan data yang perlu diselesaikan menerusi pendekatan saintifik berkaitan dengan sumber atau lokasi bahan asas binaan candi, jeti dan pengurusan pelabuhan Kedah Tua tersebut diambil.

Kajian arkeologi di Kompleks Arkeologi Sungai Batu (KASB) sehingga kini telah berupaya merekodkan penemuan sebanyak 17 buah bengkel peleburan besi (Naizatul, 2019), 11 struktur jeti (Ikhlil Izzati, 2014; Mohd Hasfarisham, 2014; 2019), 17 monumen pengurusan pelabuhan (Shamsul Anuar, 2015; Nurashiken, 2016; Suhana, 2016) serta satu kompleks monumen ritual dan keagamaan Buddha (Siti Nurul Siha, 2014; Zolkurnian *et al.*, 2018). Bengkel peleburan besi Kedah Tua disahkan dengan penemuan bijih besi, dasar relau, tuyere, jongkong besi dan sisa

besi (Naizatul, 2019), jeti berdasarkan struktur binaan yang dibina di tebing sungai, yakni terarah dan mencerun ke arah Sungai Kuno (Mohd Hasfarisham, 2019). Sementara itu, pengurusan pelabuhan pula dibina di bahagian belakang pelabuhan, mempunyai binaan yang mendatar dengan ruangan bilik kecil (Shamsul Anuar, 2015; Nurashiken, 2016 & Suhana, 2016).

Monumen ritual pula diidentitikan dengan struktur bulatan di bahagian dasar dan sekelilingnya ditemui pecahan tembikar manakala bahagian segi empat di tengah dan bulatan stupa di atasnya mewakili seni bina Buddha. Interpretasi berkaitan dengan fungsinya sebagai monumen Buddha diperkukuh lagi menerusi penemuan batu bersurat Sanskrit-Palava yang mengandungi mantera agama Buddha yang ditemui di bahagian sisi dinding segi empat. Selain itu, bagi mendapatkan usia tamadun Kedah Tua di KASB ini, beberapa sampel pentarikhan seperti bata untuk monumen dan arang untuk bengkel peleburan besi yang in situ telah diambil. Kaedah pentarikhan radiokarbon diaplikasikan bagi sampel arang, manakala bata pula dijalankan kaedah pentarikhan pendar kilau rangsangan optik (OSL). Hasil pentarikhan kemudian mendedahkan bahawa industri besi di KASB telah bermula seawal kurun keenam sebelum Masihi (Mokhtar, 2022; 2023; Mohd Hasfarisham, 2024).

Oleh sebab kajian arkeologi di KASB telah menemukan 11 struktur jeti, 17 pengurusan pelabuhan dan satu kompleks ritual dan Buddha yang dibina daripada bata, timbul satu keperluan untuk menganalisis dengan lengkap bahan asas pembuatan bata berkenaan. Analisis bahan asas pembuatan bata sangat penting bagi melengkapkan maklumat berkaitan dengan asal usul teknologi dan bahan asas pembuatan bata ini diambil. Khususnya di KASB, sehingga kini kajian saintifik bata hanya tertumpu pada tapak di bahagian utara kompleks ini. Dengan demikian, kajian ini akan menumpukan analisis saintifik terhadap tapak monumen yang berada

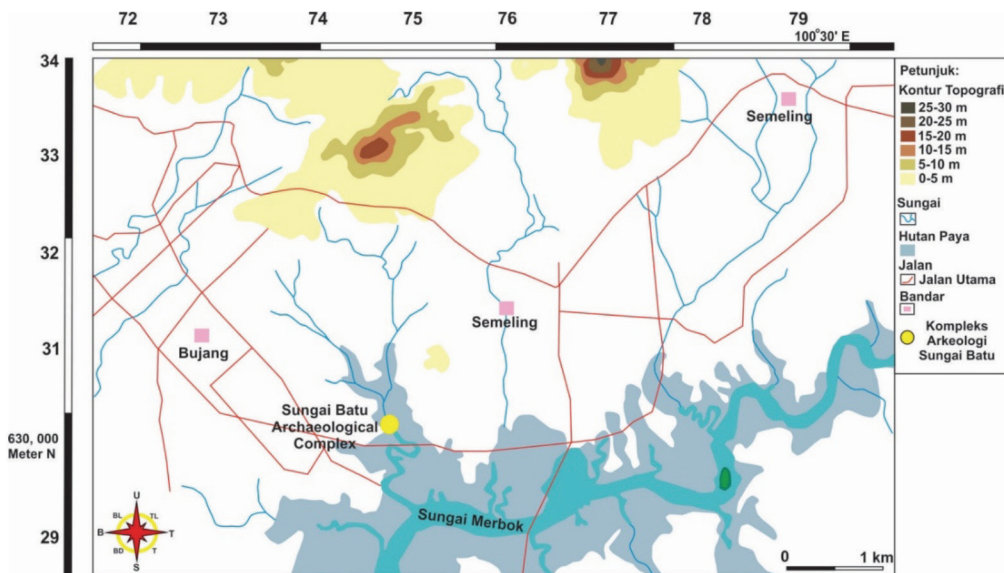
akhir telah menyebabkan sekitar KASB mempunyai kelimpahan deposit tanah liat (Che Aziz *et al.*, 2019; Mokhtar, 2022; 2023) yang memungkinkan proses pembuatan bata, atap genting, relau dan tuyere dijalankan.

Tambahan lagi, lokasi KASB itu sendiri yang terletak di bahagian selatan Gunung Jerai dan mempunyai sistem aliran sungai yang dalam serta terlindung ke kawasan pedalaman telah menjamin kesesuaiannya sebagai kawasan industri besi Kedah Tua. Selain itu, persekitaran kaki Gunung Jerai itu sendiri yang banyak direkodkan penemuan bijih besi (magnetit, hematit dan geotit) yang digunakan dalam proses peleburan besi juga menjadi petunjuk jelas berkaitan dengan potensi lokasi ini sebagai pusat industri dan perdagangan utama kerajaan Kedah Tua sejak kurun keenam sebelum Masihi. Perkara ini dibuktikan lagi berdasarkan kajian arkeologi yang telah dijalankan di kawasan KASB sejak tahun 2009 yang mendedahkan sekurang-kurangnya terdapat 97 buah tapak yang berpotensi (Mokhtar, 2011).

Bagi melihat potensi lokasi kompleks ini sebagai pusat industri, maka kajian terhadap peta topografi dan geologi dijalankan. Hasil

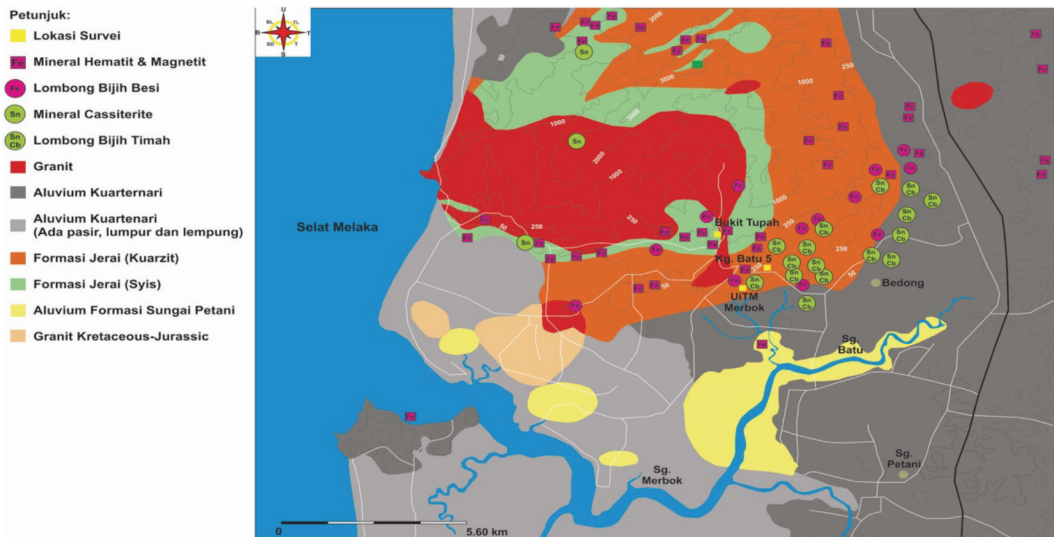
kajian secara jelas menunjukkan kompleks ini terletak di bahagian tebing Sungai Kuno yang dahulunya berkelebaran 100 m dan berkedalaman sekitar 30 m (Mohd Hasfarisham, 2019) yang kini telah termendap sepenuhnya menjadi kawasan berpayau (Rajah 1). Ini secara jelas menunjukkan faktor paleopersekitaran yang baik telah diaplikasikan oleh masyarakat Sungai Batu dalam proses pemilihan kawasan yang sesuai untuk tujuan pendirian kawasan industri. Tambahan pula, geologi kawasan Gunung Jerai terutama di Formasi Mahang yang banyak mendedahkan endapan aluvium untuk tujuan penghasilan bata dan bijih besi (magnetit, hematit dan biotit) (Rajah 2) (Burton, 1988) juga menjadi kriteria terpenting dalam pemilihan KASB sebagai sebuah kawasan industri.

Malah, dengan adanya pokok bakau yang subur di kiri dan kanan tebing Sungai Merbok (Rajah 3) yang menjangkau 45 km (Siti Azizah *et al.*, 2019) yang turut digunakan sebagai bahan bakar peleburan besi Kedah Tua. Jaraknya yang hanya sekitar satu kilometer dari kompleks memperjelas lagi keistimewaan geologi dan biologi kompleks ini kepada perkembangan ekonomi perdagangan besi Kedah Tua. Ini



Rajah 1: Lokasi Kompleks Arkeologi Sungai Batu telah termendap sepenuhnya menjadi kawasan berpayau

Sumber: Peta Topografi, No. Syit 16, Tahun 1970



Rajah 2: Taburan mineral bijih besi (magnetit, hematit dan biotit) di samping adanya kelimpahan aluvium memperlihatkan kesesuaian kompleks ini dijadikan kawasan industri
 Sumber: Peta Geologi, Sheets 2-1/2 & 2-1/6, Tahun 1972

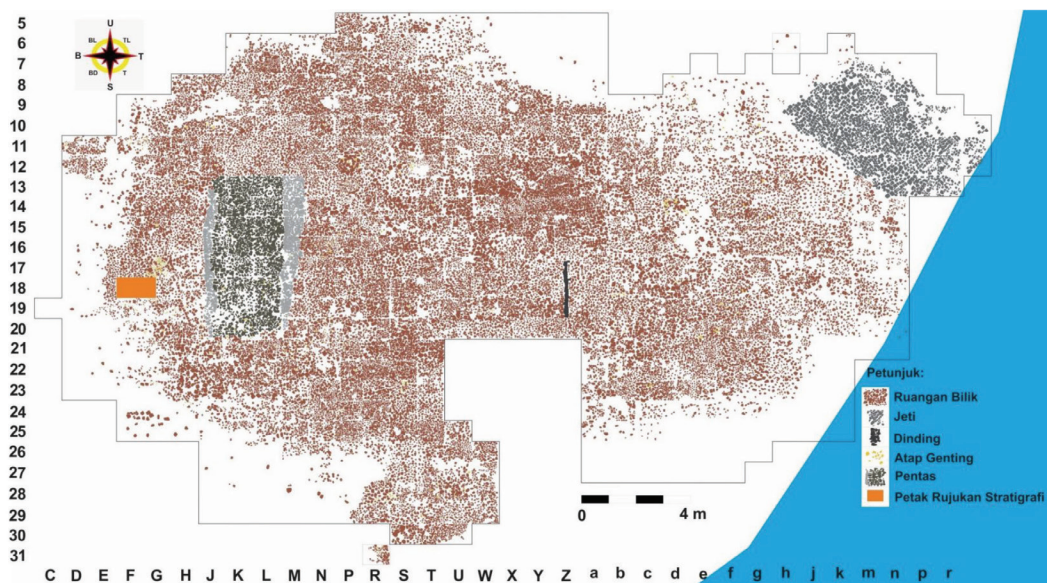


Rajah 3: Hutan Bakau Merbok di sepanjang Sungai Merbok yang jaraknya sekitar satu kilometer dari KASB telah menjelaskan lagi kesesuaian sekitaran kompleks ini dalam perkembangan industri peleburan besi
 Sumber: Siti Azizah et al. (2019) dan Mokhtar (2023)

menunjukkan persekitaran kompleks tersebut mampu menyediakan sejumlah bahan asas yang banyak bagi perkembangan kerajaan Kedah Tua itu sendiri.

Bagi memperlengkap hipotesis berkenaan, maka kajian lapangan dijalankan di tapak SB2ZZ (05°41'41.4" U dan 100°27'03.8" T). Tapak ini berkeluasan sekitar 34x27 meter

persegi (m²) (Rajah 4). Monumen ini juga dibina secara mendatar di bahagian barat yang ditakrifkan fungsinya sebagai kawasan pengurusan pelabuhan. Dalam pada itu, seni bina monumen di bahagian timur, iaitu yang berdekatan dengan tebing Sungai Kuno telah dibina dengan kecerunan 20% ke arah sungai pula telah dicadangkan fungsinya sebagai



Rajah 4: Hasil lakaran bentuk monumen di tapak SB2ZZ. Struktur jeti di tapak berkenaan jelas kelihatan di bahagian timur tapak. Bahagian lain di tapak SB2ZZ merupakan struktur bangunan pengurusan pelabuhan kepada jeti di tapak ini

Sumber: Mohd Hasfarisham (2019)

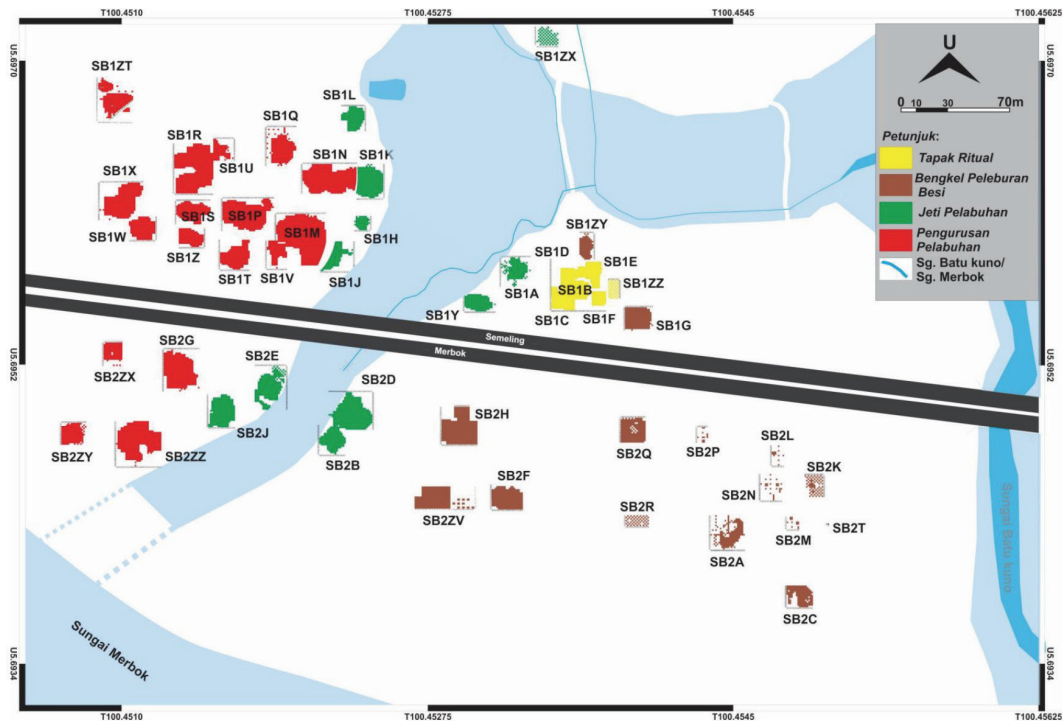
sebuah jeti di KASB. Tambahan pula, di bahagian timur kompleks yang mempunyai sungai yang luas dan dalam telah menjadi jalan penghubung kepada kapal dagang untuk tiba ke pelabuhan Sungai Batu ini (Peta 2).

Setelah proses ekskavasi selesai dijalankan, proses pensampelan artifak untuk analisis dan pentarikhan kronometrik dijalankan. Lokasi tapak SB2ZZ ini dipilih untuk dijalankan kajian berikutan masih belum terdapat analisis sampel bata dijalankan pada artifak bata di bahagian selatan KASB. Kajian Shamsul Anuar (2015), Abdul Mutalib *et al.* (2018) dan Ratnahwati *et al.* (2020) di KASB lebih menumpukan analisis bata di bahagian utara kompleks ini. Berdasarkan keadaan berkenaan, timbul satu keperluan untuk menjalankan analisis saintifik sampel bata bagi tapak monumen di bahagian selatan KASB ini. Analisis yang dijalankan membolehkan interpretasi berkaitan dengan asal bahan asas pembuatan bata ditentukan secara jitu yang membolehkan maklumat berkaitan dengan perkembangan teknologi pembuatan dan pembinaan masyarakat Kedah Tua diklasifikasikan.

Kajian Kesusasteraan

Zuliskandar *et al.*, (2011) telah menjalankan penyelidikan di Tapak 17 Candi Bukit Pendiat dan Tapak 23 Candi Pengkalan Bujang. Sebanyak 17 sampel bata dari Tapak 17 (BP17 [i]-BP19 [xvii]) dan 19 sampel bata dari Tapak 23 (PB23 [i]-PB [xix]) telah dianalisis menggunakan kaedah X-ray Fluorescence (XRF) dan XRD. Hasil kajian mendapati bahan binaan candi Tapak 17 mempunyai mineral kuarza, muskovit, mikroclin dan kaolonit, manakala bahan binaan Tapak 23 mengandungi kuarza, muskovit, anortit, mikroclin, kaolinit selain mineral hidrobiotit dan biotit sebagai mineral minor. Berdasarkan kajian tersebut, dicadangkan candi tersebut dibina menggunakan bahan asas tempatan tetapi dari kawasan yang berbeza, iaitu di bahagian hulu Sungai Muda bagi Tapak 23 dan Sungai Bujang bagi Tapak 17.

Selain itu, Zuliskandar *et al.* (2012a) juga menjalankan analisis bahan asas binaan candi Tapak 32/34 Candi Sungai Mas menggunakan kaedah XRF dan XRD. Analisis tersebut melibatkan penggunaan mesin berjenama X-ray



Peta 2: Lokasi tapak SB2ZZ di bahagian barat daya KASB yang mempunyai laluan sungai sehala yang digunakan sebagai laluan keluar masuk kapal dagang ke kompleks ini

Rujukan: Mokhtar (2022; 2023)

Diffraction SIEMENS D5000 Diffractometer dan XRF Spectrometer Philips Model PW1480. Hasil analisis yang dijalankan terhadap 26 sampel bata telah mendedahkan kandungan kuarza, muskovit, mikroklin, illit, montmorilonit serta mineral minor seperti kloritoid dan tremolit. Mineral mika dan feldspar pula telah hilang di dalam sampel berikutan suhu pembakaran mencapai suhu 800°C. Namun begitu, dicadangkan bukan kesemua bata menerima suhu setinggi 800°C kerana hasil kajian turut mendedahkan adanya mineral seperti kaolinit, illit dan montmorilonit di dalam sampel bata yang menunjukkan suhu peleburannya di bawah suhu 550°C. Ini menunjukkan kemungkinan bata tersebut dibakar menerusi teknik pembakaran terbuka yang menyebabkan berlakunya ketidakseragaman suhu (Zuliskandar *et al.*, 2012a). Hasil analisis bata berkenaan turut mencadangkan bahan asas pembinaan candi tersebut diambil dari dua kawasan, iaitu Sungai Bujang dan Sungai Muda. Interpretasi

berkenaan dikemukakan berdasarkan perbezaan kandungan kalium dalam sampel bata berkenaan yang secara jelas menunjukkan pemerolehannya adalah daripada kawasan yang berbeza.

Selain itu, hasil kajian analisis Zuliskandar *et al.* (2012b; 2013a; 2014) menggunakan XRD dan XRF terhadap 18 sampel bata Tapak 18, 16 sampel Tapak 19 dan 23 sampel bata di Tapak 21/22, Candi Pengkalan Bujang juga mendedahkan bahan asas binaan candi berkenaan diambil daripada bahan asas tempatan. Hal ini demikian kerana hasil analisis sampel bata dari Tapak 18 telah mendedahkan mineral kuarza, muskovit, kaolinit dan klorit yang mencadangkan suhu pembakarannya adalah pada 550°C. Analisis sampel bata pada Tapak 19 pula telah menunjukkan kehadiran mineral kuarza, muskovit, mikroklin dalam skala major. Sementara itu, mineral leusit, mullit dan geotit dalam skala minor. Kemungkinan suhu pembakaran bata di Tapak 19 adalah sekitar 550°C sehingga 1,400°C.

Analisis XRD terhadap sampel bata Tapak 21/22 mendedahkan kandungan kuarza, mikroclin, muskovit dan mineral minor seperti albit dan geotit. Analisis bata pada tapak ini turut menunjukkan suhu peleburannya setinggi 600°C berikutan tiada pendedahan tentang adanya kandungan mineral kaolinit pada sampel yang dianalisis. Analisis XRF pula mendedahkan kandungan yang melebihi 100 ppm bagi unsur-unsur seperti barium, serium, rubidium, vanadium dan zirkonium. Unsur lain berada pada kepekatan yang agak rendah, iaitu kurang daripada 100 ppm. Kandungan unsur barium adalah antara 477-755 ppm, manakala unsur serium adalah antara 345-560 ppm. Kandungan unsur rubidium dan vanadium masing-masing adalah antara 48-194 ppm dan 73-191 ppm manakala unsur zirkon mempunyai kepekatan antara 167-495 ppm. Bagi membuktikan penggunaan bahan asas tempatan dalam proses pembuatan bata pada Tapak 18, 19 dan 21/22, maka graf yang diplot terhadap unsur silika dan aluminium (Al) (Tapak 19) serta tembaga dan plumbum (Tapak 18 dan 21/22) dilakukan dan secara jelas menunjukkan sumber yang sama, iaitu dari lembangan Sungai Bujang.

Zuliskandar *et al.* (2013b), Zuliskandar dan Nik Hassan Suhaimi (2013) juga menjalankan penyelidikan terhadap 20 sampel bata dari tapak Candi Bukit Kechil yang memperlihatkan penggunaan bahan asas tempatan dalam proses binaan candi. Interpretasi berkenaan dicadangkan berdasarkan hasil analisis XRD yang mendedahkan mineral kuarza, muskovit, albit dan kaolinit dalam sampel bata yang dianalisis. Sementara itu, analisis XRF mendedahkan unsur seperti silika, aluminium dan ferum merupakan unsur yang mengandungi peratusan berat kering yang tinggi. Tambahan lagi, unsur surih menunjukkan kandungan yang melebihi 100 ppm bagi unsur-unsur seperti barium, cerium, kromium, vanadium dan zirkon. Hasil analisis terhadap graf yang diplot terhadap unsur kuprum melawan plumbum memperlihatkan bahan asas pembinaan bata tersebut diambil daripada sumber yang sama. Ini mencadangkan bahawa sumber bahan mentah dari kawasan lembangan

Sungai Bujang dan kawasan sekitar Mukim Merbok dan Mukim Bujang telah digunakan dalam proses pembuatan bata berkenaan.

Zuliskandar *et al.* (2013c) juga telah menjalankan analisis saintifik terhadap sampel bata di KASB yang diperoleh bukan menerusi ekskavasi. Hasil analisis telah mendedahkan mineral kuarza, muskovit, mikroclin dan mineral lain seperti mulit dan albit bagi sampel bata yang dianalisis. Bagi membuktikan penggunaan bahan asas tempatan, maka graf peratusan berat kering unsur magnesium oksida (MgO) dan titanium dioksida (TiO₂) bagi sampel bata di Candi Bukit Meriam dan lempung di Lembah Bujang diplotkan untuk melihat hasil perbandingan antara sampel bata di kompleks ini. Berdasarkan graf, didapati bahawa komposisi unsur utama sampel bata Candi Sungai Batu mempunyai sedikit perbezaan berdasarkan kandungan silika dan aluminium. Sementara itu, kandungan komposisi magnesium dan titanium menunjukkan persamaan dengan bahan mentah di Sungai Baru, Sungai Bujang dan Sungai Terus. Jelas di sini bahawa bahan mentah yang digunakan ialah bahan mentah tempatan yang diambil dari sekitaran kompleks ini.

Kajian Zuliskandar Ramli *et al.* (2013d) di Tapak 17 Bukit Choras juga mendedahkan mineral kuarza, muskovit, mikroclin dan kaolinit yang mencadangkan bata berkenaan telah dibakar pada suhu 550°C. Interpretasi tersebut dikemukakan berdasarkan analisis XRD dan XRF yang dijalankan terhadap 17 sampel bata di tapak berkenaan. Malah, hasil perbandingan terhadap graf magnesium melawan titanium jelas menunjukkan komposisi mineral kedua-dua sampel bata dan tanah adalah daripada sumber yang sama, iaitu di sekitaran lembangan Sungai Bujang.

Kajian Shamsul Anuar (2015) di kawasan KASB juga tertumpu di bahagian utara kompleks ini yang melibatkan 13 sampel bata di tapak SB1M dan SB1N. Hasil analisis mendedahkan mineral kuarza, foitit, kalsilit, rutil dan mineral lempung, iaitu ilit dan montmorilonit mendominasi kandungan sampel

bata berkenaan. Bagi mendapatkan data berkaitan bahan asas pembuatan bata berkenaan, maka graf CaO melawan K_2O diplot. Hasil analisis menunjukkan bata di kedua-dua tapak ini dihasilkan menggunakan sumber bahan asas yang sama, iaitu di lembangan Sungai Batu berdasarkan komposisi kimianya yang sama dan bertindan di dalam graf apabila diplotkan.

Zuliskandar *et al.* (2018) turut menjalankan analisis terhadap 20 sampel bata tapak Candi Kampung Baru yang mendedahkan mineral kuarza, muskovit, mikroklin dan sanidin dalam sampel bata yang dianalisis. Selain itu, analisis XRF bagi unsur utama mendedahkan kandungan unsur seperti silika, aluminium dan ferum ialah unsur yang mengandungi peratusan berat kering yang tinggi untuk sampel bata di Candi Kampung Baru. Bagi mendapatkan data berkaitan dengan bahan asas pembuatan bata berkenaan, maka analisis terhadap peratusan berat kering SiO_2 dan Al_2O_3 serta peratusan berat kering MgO dan TiO_2 untuk sampel bata dari Candi Kampung Baru dan tanah liat di Lembah Bujang telah diplot untuk memerhatikan hasil perbandingan antara sampel bata dengan tanah liat berdasarkan sumber utamanya. Berdasarkan graf, komposisi bagi elemen utama sampel bata Candi Kampung Baru didapati serupa dengan komposisi unsur-unsur utama tanah liat di Lembah Bujang. Bahan mentah ini diperoleh dari lembangan Sungai Muda, iaitu Sungai Bujang yang menjadi lokasi utama bahan asasnya diperoleh.

Abdul Mutalib *et al.* (2018) turut menjalankan analisis XRD dan XRF terhadap sampel bata KASB. Hasil analisis terhadap sampel bata hanya menunjukkan kehadiran mineral kuarza sahaja, manakala tiada mineral lempung direkodkan. Hal ini berlaku akibat pelenyapan mineral lempung kerana suhu dan tekanan tinggi dikenakan semasa pembakaran bata dibuat. Kajian oleh Abdul Mutalib *et al.* (2018) tidak menerangkan secara lengkap berkaitan dengan hasil analisis dan penggunaan bahan asas sampel bata berkenaan.

Kajian saintifik yang dijalankan oleh Ratnah *et al.* (2020) terhadap 10 tapak di bahagian SB1 dan dua tapak di bahagian

SB2 telah mendedahkan mineral kuarza, montmorilonit, mikroklin, feldspar dan ferum mendominasi kandungan dalam sampel bata. Analisis XRF unsur utama pula mendedahkan kuarza merupakan unsur utama yang terdapat dalam kandungan bata selain natrium, kalium dan fosforus. Bagi unsur minor pula, sebanyak 21 unsur telah dikenal pasti terdapat dalam kandungan bata dan unsur yang mendominasinya ialah sulfur, tungsten, zirkon dan zink. Analisis plot terhadap unsur zirkon dan zink terhadap sampel bata dan tanah di kompleks ini telah mengukuhkan interpretasi tentang sumbernya yang sama sekali gus mencadangkan bahawa bahan asas di lembangan Sungai Batu telah digunakan sebagai bahan asas pembuatan bata di kompleks tersebut.

Kajian terkini yang dijalankan oleh Nini Havela *et al.* (2022) terhadap 11 sampel laterit bagi mendapatkan jawapan berkaitan dengan bahan asas pembinaan candi Tapak 1 Bukit Choras. Analisis yang dijalankan telah membolehkan komposisi mineral laterit BCL1, BCL2, BCBM2 dan BCBM3 direkodkan. Komposisi mineral sampel laterit tersebut mendedahkan adanya mineral kuarza, kaolinit dan hematit selain peratusan elemen major dan surih juga menunjukkan korelasi yang jelas antara sampel berkenaan. Ini termasuklah komposisi silikon (Si), aluminium (Al), zirkonium (Zr) dan kromium (Cr) yang akhirnya mencadangkan bahan asas di bahagian tenggara Bukit Choras merupakan bahan asas pembinaan candi di tapak berkenaan.

Berdasarkan kajian terdahulu, jelas dibuktikan bahawa telah wujud kearifan tempatan masyarakat Kedah Tua dalam aspek pembinaan candi yang menggunakan bahan asas bata atau laterit. Bagi KASB itu sendiri, sehingga kini hanya terdapat empat penerbitan khusus yang menganalisis secara langsung bata di kompleks ini. Kajian oleh Zuliskandar *et al.* (2013d) terhadap sampel bata di kompleks ini hanya diperoleh menerusi jumpaan permukaan dan bukannya daripada ekskavasi. Malah, kajian tersebut juga tidak menyatakan lokasi sumber tapak bata tersebut disampel bagi memperkukuh

hasil kajian yang dijalankan berkaitan dengan bahan asas binaan monumen di kompleks ini. Kajian oleh Shamsul Anuar (2015) dan Ratnah *et al.* (2018) pula didapati lebih tertumpu di bahagian utara kompleks ini (SB1) dan hanya melibatkan dua tapak di bahagian selatan kompleks (SB2). Oleh hal yang demikian, interpretasi yang dikemukakan hanyalah dominan bagi sampel bata di bahagian utara kompleks ini. Kajian oleh Abdul Mutalib *et al.* (2018) pula tidak menyatakan lokasi sumber bahan asas pembuatan bata tersebut diambil berdasarkan hasil analisis yang dijalankan.

Terutama bagi analisis XRD itu sendiri, sehingga kini telah berupaya mendedahkan lokasi asal bahan asas yang digunakan dalam proses pembuatannya. Namun begitu, dapatan data yang ada sehingga kini telah mencadangkan bahawa pembakarannya adalah secara terbuka dan bukannya dibakar di dalam relau. Sebaliknya, ekskavasi arkeologi telah menunjukkan terdapatnya bukti seni bina relau Kedah Tua yang telah digunakan terutama di tapak bengkel peleburan besi (Naizatun, 2019). Tambahan pula, kajian Abdul Mutalib *et al.* (2018) dan Ratnahwati *et al.* (2020) telah merekodkan adanya kuarza dan mineral bertekanan tinggi seperti mulit (Al₄Si_{1.56}O_{9.78}) yang menunjukkan kemungkinan relau diguna pakai dalam proses pembakaran bata.

Namun begitu, kajian terdahulu bagi tapak arkeologi Kedah Tua tidak merekodkan terdapatnya analisis terhadap atap genting dijalankan. Oleh hal yang demikian, analisis terhadap artifak atap genting di KASB merupakan data primer yang pertama kali didedahkan teknologi pembuatannya bagi tamadun Kedah Tua. Bagi memperengkap kajian ini, maka proses penyelidikan terhadap tapak jeti dan pengurusan pelabuhan terbesar di bahagian selatan KASB dijalankan. Ini bertujuan membuktikan sekiranya relau atau pembakaran terbuka diaplikasikan dalam proses penghasilan bata dan atap genting bagi kerajaan Kedah Tua khasnya di KASB.

Metodologi Kajian

Secara umumnya, kajian ini dijalankan berdasarkan ketetapan metodologi yang dapat diterangkan seperti berikut:

Kajian Literatur

Kajian ini dijalankan berdasarkan keperluan untuk memperengkap dan mengukuhkan interpretasi oleh Shamsul Anuar (2015) dan Ratnah *et al.* (2020) terhadap 12 tapak di bahagian SB1 (utara) dan dua tapak di bahagian SB2 (selatan) berkaitan dengan penggunaan bahan asas tempatan berdekatan Sungai Batu. Kajian tersebut dominan dijalankan di bahagian utara kompleks ini dan majoriti sampel yang dianalisis juga diambil dari tapak monumen di bahagian utara kompleks. Kajian Abdul Mutalib *et al.* (2018) pula hanya membincangkan komposisi kandungan mineral dalam bata dan atap genting sahaja tanpa menyatakan dengan lengkap lokasi sumber bahan asas pembuatannya diperolehi.

Kajian Zuliskandar *et al.* (2013d) pula hanya melibatkan sampel bata yang diambil daripada jumpaan permukaan di kompleks ini tanpa dinyatakan lokasi sampel secara jelas. Ini memperlihatkan wujudnya kelemahan data yang memerlukan kajian lanjutan dijalankan, terutama bagi sampel bata di bahagian selatan kompleks. Kajian ini bertujuan untuk mengukuhkan interpretasi yang dikemukakan dan memuktamadkan asalan bahan asas yang digunakan bagi pembuatan bata di kompleks ini.

Ekskavasi

Bagi melengkapkan kajian, aktiviti survei dan pemetaan mula dijalankan di bahagian selatan kompleks. Saiz tapak yang dipilih adalah besar yang mewakili struktur binaan yang terbesar di bahagian selatan, iaitu berkeluasan 34x27 m². Sebelum diekskavasi, proses pemetaan geofizik telah dijalankan bagi membuktikan potensi tapak berkenaan. Pemetaan geofizik 2D keberintangan yang dijalankan membuktikan adanya struktur yang telah tertanam di bawah permukaan

tanah antara kosong hingga satu meter berdasarkan bacaan anomali sehingga 3,500 Ωm (Jimmin *et al.*, 2017). Malah, pemetaan geofizik menggunakan kaedah magnetik juga mendedahkan bacaan anomali yang tinggi, iaitu -50 sehingga 180 nT (Nordianah *et al.*, 2014). Selepas potensi tapak dibuktikan, maka proses ekskavasi dijalankan yang melibatkan keluasan 720 m². Ekskavasi ini mendedahkan struktur binaan mendatar yang mempunyai ruangan bilik kecil dan satu struktur yang dibina secara mencerun di pinggir Sungai Kuno. Ekskavasi di tapak ini terutama di bahagian struktur yang dibina secara mencerun (jeti) telah direkodkan

penemuan artifak perdagangan seperti seramik China, tembikar batu, kaca, gelendung benang dan tembikar. Hasil pentarikan terhadap sampel bata telah memberikan usia monumen SB2ZZ telah dibina seawal 118 Masihi (1.9 \pm 0.2) sehingga 518 Masihi (1.5 \pm 0.1) (Mohd Hasfarisham, 2019).

Pensampelan dan Penyediaan Sampel

Bagi melengkapkan kajian, sebanyak 60 sampel artifak masing-masing 45 bata dan 15 sampel untuk atap genting (Jadual 1 dan Rajah 5) telah dipilih untuk dijalankan analisis

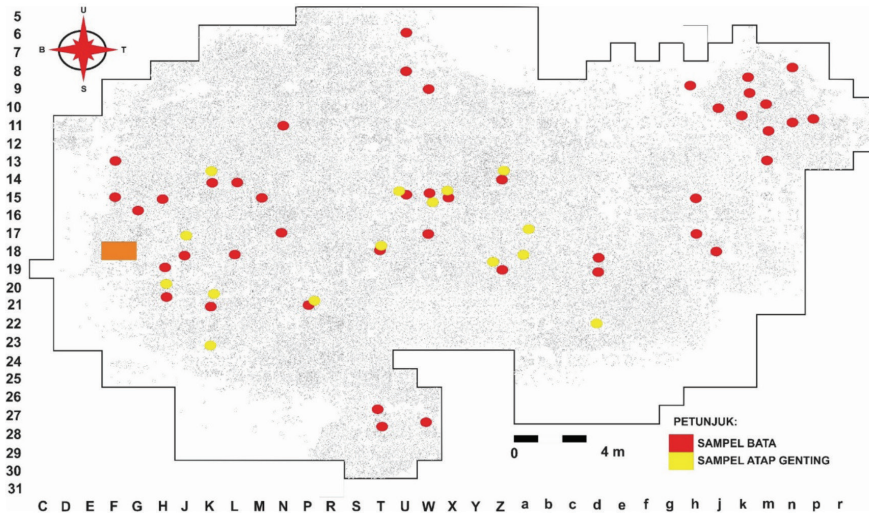
Jadual 1: Klasifikasi sampel bata dan atap genting untuk analisis saintifik XRD dan XRF di tapak SB2ZZ
Sumber: Penulis

| No. | Petak | Spit | Klasifikasi Seni Bina |
|-----|-------|-------------|-----------------------|
| | | Bata | |
| 1 | d18 | 1 | |
| 2 | d19 | 2 | |
| 3 | h15 | 4 | |
| 4 | h17 | 4 | |
| 5 | j18 | 2 | |
| 6 | F13 | 4 | |
| 7 | F15 | 4 | |
| 8 | G16 | 5 | |
| 9 | N11 | 5 | |
| 10 | N17 | 4 | Ruang bilik |
| 11 | P21 | 4 | |
| 12 | T18 | 6 | |
| 13 | T27 | 7 | |
| 14 | T28 | 7 | |
| 15 | U6 | 4 | |
| 16 | U8 | 3 | |
| 17 | U15 | 5 | |
| 18 | W9 | 1 | |
| 19 | W15 | 6 | |
| 20 | W17 | 5 | |
| 21 | W18 | 4 | |
| 22 | W28 | 7 | Ruang bilik |
| 23 | X15 | 10 | |
| 24 | Z14 | 9 | |
| 25 | Z19 | 4 | |

| | | | |
|---------------------|-----|----|-------------|
| 26 | H15 | 5 | |
| 27 | H19 | 7 | |
| 28 | H20 | 5 | |
| 29 | J18 | 5 | Pentas |
| 30 | K14 | 10 | |
| 31 | K21 | 3 | |
| 32 | L14 | 11 | |
| 33 | L18 | 2 | |
| 34 | M15 | 6 | |
| 35 | h9 | 2 | |
| 36 | j10 | 2 | |
| 37 | k8 | 2 | |
| 38 | n9 | 3 | |
| 39 | k9 | 2 | |
| 40 | k10 | 2 | Jeti |
| 41 | m10 | 3 | |
| 42 | m11 | 3 | |
| 43 | m13 | 5 | |
| 44 | n11 | 3 | |
| 45 | p11 | 6 | |
| Atap Genting | | | |
| 46 | a17 | 5 | |
| 47 | a18 | 5 | |
| 48 | d22 | 4 | |
| 49 | K23 | 4 | |
| 50 | P21 | 4 | |
| 51 | T18 | 6 | Ruang bilik |
| 52 | U15 | 5 | |
| 53 | W15 | 6 | |
| 54 | X15 | 10 | |
| 55 | Z14 | 9 | |
| 56 | Z19 | 4 | |
| 57 | H20 | 5 | |
| 58 | J18 | 5 | Pentas |
| 59 | K14 | 10 | |
| 60 | K21 | 3 | |

XRD. Sampel tersebut dipilih berdasarkan lokasi penemuannya yang berasosiasi dengan struktur seni bina ruang bilik, pentas atau jeti yang in situ. Tiada sampel atap genting diambil daripada struktur jeti kerana tiada penemuan atap genting direkodkan di bahagian berkenaan. Sampel atap genting untuk analisis saintifik ini

dipilih secara rawak. Hal ini demikian kerana jumlah atap genting yang sedikit penemuannya menyebabkan hanya sebilangan kecil sahaja atap genting dipilih untuk dijalankan kajian. Perkara ini membolehkan proses pemuliharaan artifak di tapak dilakukan bagi tatapan generasi akan datang.



Rajah 5: Lokasi persampelan bata dan atap genting di tapak SB2ZZ, KASB
 Sumber: Penulis

Bagi membandingkan hasil analisis XRD yang telah dijalankan terhadap 45 sampel bata dan 15 sampel atap genting di tapak SB2ZZ, sebanyak tujuh lokaliti sampel tanah turut diambil di kawasan selatan Sungai Kuno kompleks. Rajah 6 menunjukkan lokasi sampel

tanah ini diambil dengan menggunakan kaedah penggerudian cetek (Plet 1) sehingga mencapai kedalaman satu meter. Sampel tanah ini diambil dalam jarak sekitar 100 m dari tapak SB2ZZ di bahagian tebing Sungai Kuno.



Rajah 6: Lokasi log penggerudian sampel tanah yang dilakukan di bahagian barat daya KASB
 Sumber: Penulis



Plet 1: Proses penggerudian cetek diaplikasikan bagi mendapatkan 15 sampel tanah untuk dianalisis menggunakan kaedah XRD bagi melengkapkan kajian ini

Sumber: Penulis

Setiap satu log penggerudian tersebut akan diambil dua sampel tanah untuk tujuan analisis. Ini bermaksud setiap lapisan yang mendedahkan terdapatnya bukti tanah liat akan diambil sampelnya, iaitu pada permulaan lapisan tanah liat yang antara kedalaman 60-100 cm (Jadual 2). Setelah kesemua sampel diperoleh menerusi kajian lapangan, kesemua sampel berkenaan dianalisis menggunakan kaedah XRD. Tujuan kajian XRD untuk mengenal pasti mineral (Bunacie *et al.*, 2015) berbeza dengan analisis XRF yang dapat menentukan unsur kimia bahan mentah (Mantler & Schreiner, 2000). Kesemua analisis berkenaan berupaya menentukan penggunaan bahan asas bagi sampel bata dan atap genting.

Bagi tujuan penyediaan sampel XRD pula merujuk garis panduan yang ditetapkan sepertimana dibincangkan oleh Abdul Mutalib *et al.* (2018). Bagi tujuan meminimumkan kerosakan pada sampel semasa dianalisis, hanya 10 g sampel dalam bentuk serbuk diambil untuk dianalisis. Sampel bata tersebut diserbukkan sehingga memperoleh saiz butiran sampel yang ditetapkan, iaitu sekitar 20 μm bagi membolehkan analisis kandungan bahan

di dalam sampel bata dijalankan. Sampel bata ini kemudiannya dianalisis menggunakan instrumen Difraktor Belauan Sinar-X Bruker D8 Advance yang berpandukan perisian DIFFRAC.EVA daripada Bruker. Prosedur dan kaedah analisis XRD dan XRF pula 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 membiarkannya terdedah kepada udara sebelum dimasukkan ke dalam desikator. Bagi tujuan melapik pemegang sampel, kertas pengalas diletakkan di atas meja. Bagi

menjalankan analisis XRD, sampel berkenaan akan dimasukkan ke dalam ruangan sampel dengan menggunakan spatula. Kepingan kaca digunakan untuk ditekapkan pada permukaan ruangan sampel bagi tujuan memenuhi ruangan sampel dengan sampel berkenaan. Selepas sampel selesai dimasukkan ke dalam ruangan sampel, proses analisis di dalam mesin XRD dijalankan.

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, pintu ruangan difraktometer ditutup. Ikon “Diffract Measurement” ditekan dan paparan tetingkap “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 dikenal pasti kedudukannya, sampel yang ingin dijalankan analisis dipilih dan ditetapkan kedudukannya.

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 1,600 W). Butang ikon sinar-X diklik 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 dari 0.01 s sehingga 1,000 s. Bagi analisis sampel ini, masa yang ditentukan ialah 1.0 s.

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 2θ adalah dari 5-70°. Selepas sudut ditentukan, butang mula ditekan bagi memulakan analisis XRD.

Jadual 2: Data asas sampel tanah yang dijalankan analisis saintifik XRD

| No. Sampel | Koordinat | Jumlah Sampel |
|------------|-----------------------------|---------------|
| 1 | 5°41'42" U dan 100°27'06" T | 2 |
| 2 | 5°41'41" U dan 100°27'06" T | 2 |
| 3 | 5°41'41" U dan 100°27'06" T | 2 |
| 4 | 5°41'41" U dan 100°27'05" T | 2 |
| 5 | 5°41'41" U dan 100°27'05" T | 2 |
| 6 | 5°41'40" U dan 100°27'04" T | 2 |
| 7 | 5°41'40" U dan 100°27'04" T | 2 |

Paparan pengukuran difraktometer 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 DIFFRAC.EVA Version 1.4 bagi mengenal pasti puncak data analisis dan disepadankan dengan puncak yang terdapat dalam pangkalan data Powder Diffraction File (PDF-2/Release 2010 RDB).

Hasil dan Perbincangan

Analisis Sainifik

Hasil analisis XRD terhadap 45 sampel bata dan 15 sampel atap genting (Jadual 3) di tapak SB2ZZ, KASB telah mendedahkan mineral kuarza (SiO_2) dan montmorilonit ($\text{Na}_{0.3}(\text{AlMg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{OH}_{2.6}\text{H}_2\text{O}$) mendominasi kandungan pada sampel bata dan atap genting. Selain itu, terdapat juga mineral seperti diaspor ($\text{AlO}(\text{OH})$), mikroklin (KAlSi_3O_8), kristobalit (SiO_2), mulit ($\text{Al}_{4.44}\text{Si}_{1.56}\text{O}_{9.78}$), ortoklas (feldspar) ($\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$), kaolonit ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), ilit ($\text{K}, \text{H}_3\text{O}$) ($\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2, (\text{H}_2\text{O})]$, kalsit (CaCO_3), pirop ($\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$), dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), melonit (NiTe_2) dan anatase ($\text{Ti}_{0.72}\text{O}_2$) di dalam bahan asas penghasilan bata dan atap genting berkenaan.

Mineral tersebut merupakan kandungan biasa yang terdapat di dalam tanah liat dan sebahagiannya merupakan mineral bernilai ekonomi (Ross & Hendricks, 1945; Chen, 1975; Wan Fuad & Kadderi, 1995; Wan Fuad & Tan, 1997; Terry Mart, 2001; Umar *et al.*, 2010; Bergaya & Lagely, 2013). Tambahan pula, kawasan KASB itu sendiri yang berada di dalam kawasan mendapan aluvium berdasarkan peta geologi (Peta Geologi, Sheets 2-1/2 & 2-1/6, Tahun 1972) telah menyebabkan adanya kemudahan untuk mendapatkan bekalan tanah liat yang mencukupi untuk proses pembuatan bata dan atap genting di kompleks ini.

Mineral kuarza merupakan mineral utama yang dicatatkan dalam setiap sampel. Walau bagaimanapun, terdapat satu sampel bata di

tapak SB2ZZ mendedahkan kehadiran mineral dolomit (sampel 8) dan kalsit (sampel 22) telah mencadangkan sampel bata tersebut diperbuat daripada tanah yang berkemungkinan diambil berdekatan dengan Formasi Mahang (Almashor, 1973; Zaiton & Basir, 2000; Che Aziz *et al.*, 2019).

Peta Geologi kawasan menunjukkan KASB itu sendiri terletak di kawasan Formasi Mahang (Bean, 1969; Peta Geologi, Sheets 2-1/2 & 2-1/6, Tahun 1972; Almashoor, 1973; Courtier, 1974; Che Aziz *et al.*, 2019) yang memungkinkan bahan asas tersebut diambil di sekitar kawasan ini bagi tujuan pembuatan bata.

Namun begitu, analisis XRD terhadap sampel bata juga menunjukkan adanya mineral seperti kaolinit, montmorilonit dan feldspar bersama mineral suhu tinggi seperti kristobalit dan mulit (Rajah 7). Mineral kaolinit wujud di dalam sampel bata jika suhu dikenakan tidak melebihi 550°C (Schietz & Soliman, 1964; McConville, 2001) manakala montmorilonit dan feldspar tidak melebihi suhu 900°C (Grim, 1992; Carty & McConville, 2001). Sementara itu, mineral mulit dan kristobalit pula memerlukan suhu melebihi $1,100\text{-}1,400^\circ\text{C}$ (Zhou *et al.*, 2013; Dapiaggi *et al.*, 2015). Ini menunjukkan terdapatnya bahagian bata yang tidak menerima suhu setinggi $1,400^\circ\text{C}$ walaupun dibakar di dalam relau bagi menjadikan bahan siap sebelum didirikan monumen di tapak jeti dan pengurusan pelabuhan SB2ZZ.

Hasil analisis XRD pada artifak atap genting turut mendedahkan kehadiran mineral kuarza, montmorilonit, kristobalit dan mulit (Sampel 2, 3, 4, 10, 11, 12, 13 & 14). Mineral kuarza dan kaolonit merupakan kandungan yang ada di dalam tanah liat dan akan berubah sifat kepada mineral kristobalit dan mulit sekiranya suhu mencapai sekurang-kurangnya $1,400^\circ\text{C}$ sepertimana cadangan Grim (1992) dan Vokac *et al.* (2009). Oleh sebab di dalam sampel atap genting mendedahkan mineral kuarza dan mineral bersuhu tinggi (kristobalit dan mulit), atap genting tersebut juga telah dibakar di dalam relau pada suhu sekurang-kurangnya sekitar 900°C sehingga $1,400^\circ\text{C}$.

Jadual 3: Hasil analisis Difraktometer Belauan Sinar-X (XRD) sampel bata, atap genting dan tanah di kawasan monumen jeti dan pengurusan pelabuhan SB2ZZ
 Sumber: Penulis

| Klasifikasi | Sampel | Mineral | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|--------|---------|---------------|---------|---------|-----------|----------|----------|-------------|-------|-------|-----|--------|---------|---------|---|
| | | Kuarza | Montmorilonit | Dolomit | Anatase | Mikroklin | Ortoklas | Kaolinit | Kristobalit | Mulit | Pirof | Ilt | Kalsit | Diaspor | Melonit | |
| | 1 | X | | | | X | | | | | | | | X | | |
| | 2 | X | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | | X | | | | | | | | | | | | | |
| | 4 | X | X | | | | | | | | | | | | | |
| | 5 | X | X | | | | | | | | | | | | | |
| | 6 | X | X | | | | | | | | | | | | | |
| | 7 | X | X | | | | | | | | | | | | X | |
| | 8 | X | X | X | | | | | | | | | | | | |
| | 9 | X | X | | X | | | | | | | | | | | |
| | 10 | X | X | | | | | | | | | | | | | |
| | 11 | X | X | X | | | | | | | | | | | | X |
| | 12 | X | X | | | | | | | | | | | | | |
| | 13 | X | | | | | | | | | | | X | | X | |
| | 14 | X | | | | | | X | | | | | | | | |
| | 15 | X | | | | | | X | | | | | | | | |
| | 16 | X | | | | | | X | | | | | | | | |
| | 17 | X | X | | | | | | | | | | | | | |
| | 18 | X | X | | | | | | | | | | | | | |
| | 19 | X | X | | | | | | | | | | | | | |
| | 20 | X | X | | | | | | X | | | | | | | |
| | 21 | X | X | | | | | | | | | | | | | |
| | 22 | X | | | | | | | | | | | X | X | X | |
| | 23 | X | X | | | | | | | | | | | | | |
| | 24 | X | X | | | | | | X | | | | | | | |
| | 25 | X | X | | | | | | X | | | | | | | |
| | 26 | X | X | | | | | | | | | | | | | |
| | 27 | X | X | | | | | | | | | | | | | |
| | 28 | X | | | | | | X | | | | | | | | |
| | 29 | X | X | | | | | | X | | | | | | | |
| | 30 | X | X | | | | | | | | | | | | | |
| | 31 | X | | | | | | | X | | | | | | | |
| | 32 | X | X | | | | | | | | | | | | | |
| | 33 | X | | | | | | | X | | | | | | | |
| | 34 | X | | | | | | | X | | | | | | | |

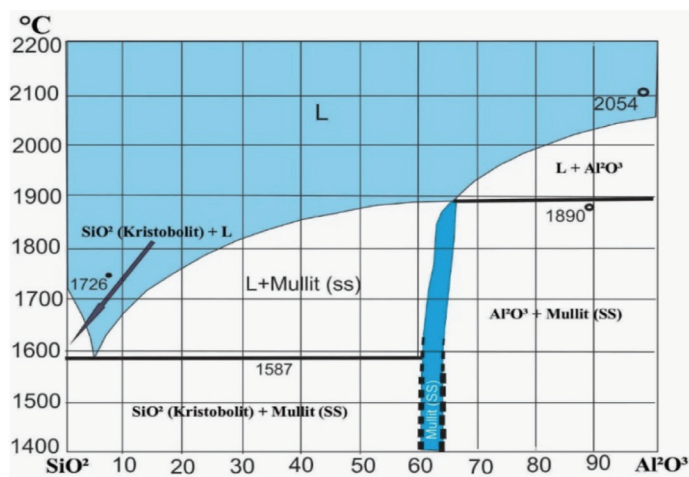
Umumnya, kristobalit merupakan mineral polimorf suhu tinggi yang terbentuk hasil daripada pemanasan suhu tinggi terhadap mineral kuarza (Grim, 1992). Mulit pula merupakan mineral yang tergolong dalam kumpulan aluminium silikat. Tanah yang mengandungi banyak kandungan aluminium selain kaolinit juga boleh membentuk mineral mulit. Hasil tindak balas antara silika (SiO_2) dengan alumina (Al_2O_3) dalam tanah lempung membolehkannya berubah sifat kepada mulit apabila suhu dan tekanan tinggi dikenakan terhadapnya (Shackelford & Doremus, 2008).

Menurut Bradford (1972), daik pegmatit yang hadir di sekitar Gunung Jerai telah terluluhawa menjadi kaolinit. Umumnya, tanah lempung jenis kaolinit mempunyai kandungan mineral kaolinit melebihi 50% serta mengandungi bendasing yang sangat kurang dan warnanya cerah (Dombrowski, 2000). Warna kaolinit juga bergantung pada kehadiran mineral tertentu seperti filosikat dan pigmen ferum serta aluminium. Menurut Bailey (1963), warna tanah kaolinit ini akan bertukar kepada kekuningan jika terdapat unsur ferum di dalam kandungannya. Oleh sebab kaolinit di kawasan KASB mempunyai unsur ferum, bata dan atap genting yang terhasil daripada bahan asas berkenaan akan bertukar kepada kuning

keperangan apabila dibakar (Ikilil Izzati *et al.*, 2018).

Sampel tanah yang mengandungi mineral montmorilonit pula terhasil daripada luluhawa batuan induk, iaitu batuan syal dari Formasi Mahang (Bradford, 1972; Burton, 1988; Azmiah & Azman, 2014) yang terdiri daripada kumpulan smektit (Noran *et al.*, 2017). Hasil analisis tersebut secara jelas menunjukkan penggunaan bahan asas tanah liat untuk penghasilan bata dan atap genting diperoleh di kawasan sungai yang berdekatan dengan lokasi pendirian monumen SB2ZZ itu sendiri. Ini terjadi kerana hasil analisis terhadap sampel tanah yang turut menunjukkan kehadiran unsur mineral montmorilonit dan kaolinit selain adanya unsur berkapur jelas mempunyai persamaan dengan analisis bata dan atap genting di tapak jeti dan pengurusan pelabuhan SB2ZZ.

Analisis XRD terhadap sampel bata dan atap genting mendedahkan bahan asas pembuatannya diambil di sekitar Formasi Mahang, iaitu di aliran Sungai Batu itu sendiri, diuli dan dibentuk menjadi bata, dijemur dan dibakar pada suhu sekitar 550-1,400°C. Hasil analisis ini membolehkan teknologi pembuatan dan pembakaran bata di KASB direkodkan menerusi kajian akademik. Ini terjadi kerana menerusi analisis XRD, pengenalpastian mineral



Rajah 7: Suhu dan tekanan sekitar 1,400°C diperlukan untuk menghasilkan mineral suhu tinggi
Sumber: Baker (1992) & Farley (2008)

yang berbeza di dalam tanah dapat ditentukan dengan tepat (Skoog *et al.*, 1998).

Analisis XRD terhadap enam sampel bata dan dua sampel atap genting telah mendedahkan kehadiran kandungan mineral kuarza sahaja dan tiada mineral lempung direkodkan semasa analisis dijalankan. Menurut Casper (2001), perkara ini terjadi berikutan suhu dan tekanan tinggi yang dikenakan semasa proses pembakaran bata berkenaan yang menyebabkan pelenyapan mineral lempung berlaku. Ini bermakna apabila suhu setinggi 500°C sehingga 600°C dikenakan terhadap bahagian bata berkenaan akan membuatkan hablur kaolinit mengalami dehidroksilasi (proses kehilangan molekul air) dan menghasilkan metakaolin yang amorfus (Abdul Mutalib *et al.*, 2018). Keadaan amorfus ini disebabkan oleh puncak difraktogram mineral kaolinit telah lenyap sama sekali.

Selain itu, kajian ini turut mengukuhkan analisis yang dijalankan oleh Ratnah *et al.* (2020) yang turut menyatakan bahan asas pembuatan bata dan atap genting di KASB menggunakan bahan asas yang mengandungi dua jenis tanah lempung seperti kaolinit dan montmorilonit yang dicampur dengan pasir (kuarza) sebagai bahan pewajaannya.

Hal ini demikian kerana hasil analisis terhadap 45 sampel bata dan 15 sampel atap genting di tapak SB2ZZ jelas menunjukkan kehadiran kedua-dua mineral tersebut selain kehadiran kuarza (pasir) dalam kandungan tanah liat yang dianalisis. Dengan adanya kehadiran mineral dolomit dalam kandungan bata dan atap genting, jelas dicadangkan bahawa bahan asas yang diguna pakai ialah aluvium di kawasan KASB (Bradford, 1972). Tambahan pula, ilmu berkaitan dengan penggunaan unsur berkapur dalam penghasilan bata dijangka telah wujud sejak 10,000 tahun dahulu dan pembinaan Tembok Besar China merupakan contoh adanya penggunaan unsur berkapur (dolomit) dalam struktur seni binanya (Song, 2009).

Ini menunjukkan masyarakat di KASB dahulunya berkemungkinan mempunyai maklumat berkaitan dengan penggunaan unsur berkapur

(dolomit) dalam proses pembuatan batanya yang diperoleh menerusi interaksi perdagangan yang berlaku. Ini terjadi kerana bukti arkeologi sejak zaman Neolitik di Asia Tenggara khususnya di Guar Kepah (5°33'32" U dan latitud 100°25'38" T) yang menemukan alat batu daripada jenis *hornfels*, *shale*, *schist*, *hornblend schist*, *metamorphosed*, *calcareous shale*, hematit dan *micropegmatite*. Bahan asasnya berada di Gunung Jerai, Kedah (Ahmad Hakimi, 2008) yang mengukuhkan adanya aktiviti perkapalan menggunakan jalan laut sejak zaman Neolitik. Malah, bukti arkeologi di Papua dan Kepulauan Maluku, Indonesia itu sendiri seperti penemuan kapak perunggu (Soejono, 1994) dan nekara (Bintarti, 2008; Marlon, 2015) juga membuktikan aktiviti perdagangan menggunakan jalan laut telah bermula sejak sebelum kurun pertama Masihi. Ini membolehkan pertembungan teknologi berlaku yang menyebabkan perkembangan kearifan tempatan berkaitan dengan pembuatan bata berkembang dengan baik.

Selain itu, hasil analisis XRD di tapak SB2ZZ juga mendedahkan sampel bata dan atap genting turut terdedah pada suhu setinggi 1,400°C yang mencadangkan relau telah diguna pakai dalam proses pembakaran artifak berkenaan. Hal ini demikian kerana suhu optimum yang boleh dicapai bagi pembakaran terbuka adalah sekitar 700-900°C (Midya Hasdy, 2006). Analisis ini berbeza dengan dapatan daripada Zuliskandar *et al.* (2012a) di tapak candi Sungai Mas dan tapak 22/11 Pengkalan Bujang (Zuliskandar, 2012b) yang mencadangkan suhu pembakarannya adalah sekitar 550°C berdasarkan kehadiran mineral kaolinit, ilit dan montmorilonit. Berdasarkan kehadiran suhu tersebut dan tiadanya suhu bertekanan tinggi dalam sampel bata yang dianalisis di tapak candi Sungai Mas dan candi Pengkalan Bujang, dapat disimpulkan bahawa teknik pembakaran terbuka telah diaplikasikan. Teknik ini digunakan sebagai teknologi penghasilan bata di tapak berkenaan.

Hasil analisis saintifik XRD terhadap sampel tanah di sekitar KASB mendedahkan kandungan mineral yang sama dengan sampel

bata dan atap genting. Mineral tersebut ialah kaolinit, kuarza, montmorilonit, diaspora, ortoklas dan mikroklin. Kandungan mineral bagi sampel tanah terjadi daripada proses luluhawa batuan induk yang berbeza. Kaolinit berasal daripada batuan induk seperti granit. Menurut Bradford (1972), daik pegmatit yang hadir di sekitar Gunung Jerai telah terluluhawa menjadi kaolinit.

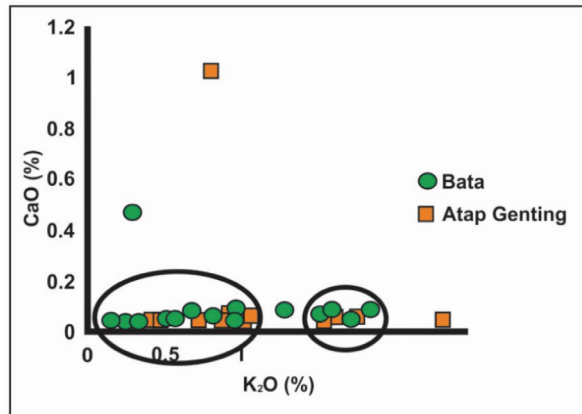
Sampel tanah yang mengandungi mineral montmorilonit pula terhasil daripada luluhawa batuan induk, iaitu batuan syal dari Farmasi Mahang (Bradford, 1972; Burton, 1988; Azmiah, 2014). Walaupun sampel tanah yang diambil berasal daripada sumber batuan induk yang berbeza, namun begitu ia masih berada di sekitar tapak kajian. Ini menunjukkan sumber bahan asas untuk pembuatan bata dan atap genting diambil dari kawasan yang berdekatan dengan tapak kajian. Interpretasi berkenaan diperkukuh berdasarkan analisis yang dijalankan terhadap graf kalsium oksida (CaO) melawan kalium oksida (K₂O). Analisis ini jelas menunjukkan bahan asas bata dan atap genting adalah daripada sumber yang sama (Rajah 8), iaitu di sekitar Formasi Mahang di dalam KASB yang terletak di persekitaran sungai kuno.

Senario penggunaan bahan asas tempatan ini juga tampaknya bukan hanya berlaku bagi kerajaan Kedah Tua semata-mata. Teknologi pembuatan bata yang sama turut didedahkan bagi rantau Asia Tenggara khususnya di Indonesia apabila kajian saintifik yang telah dijalankan oleh sekumpulan penyelidik daripada Institut Alam dan Tamadun Melayu (ATMA), Universiti Kebangsaan Malaysia telah mendedahkan bukti penggunaan bahan asas tempatan dalam proses pembuatan bata candi. Analisis XRD sampel bata di tapak Candi Asem atau TLJ V (06°03'00" U dan 107°08'41" T) umpamanya telah mendedahkan mineral seperti kuarza (SiO₂), anortit ((Ca,N)(Si,Al)₄O₈), andesine (Na_{0.622}Ca_{0.368}Al_{1.29}Si_{2.71}O₈), albit (Na(Si₃Al)O₈), labradorit (Ca_{0.64}Na_{0.31})(Al_{1.77}Si_{2.275})O₈, hematit (Fe₂O₃), bitownit (Ca_{0.85}Na_{0.14}Al_{1.83}Si_{2.16}O₈), kristobalit (SiO₂), andradit Ca₃Fe₂(SiO₄)₃, spinel (Al₂MgO₄), anortoklas (Na_{0.85}K_{0.14})(AlSi₃O₈),

tremolit (Ca₂MgSi₈O₂₂(OH)₂), rodonit (Mg₄Ti₂Ca₂(Al₄Si₂O₂₀), *gismondine* (CaAl₂Si₂O₈·4H₂O), opal (SiO₂·xH₂O) dan juga klinopyroksin (Ca_{0.91}Na_{0.05}Fe_{0.03}Mg_{0.01})(Mg_{0.90}Fe_{0.02}Fe_{0.05}Al_{0.03}) (Muhammad Syafiq et al., 2014; 2016). Berdasarkan analisis tersebut juga, dicadangkan bahawa sampel bata Candi Asem telah dibakar pada suhu antara 850°C sehingga 900°C (Muhammad Syafiq et al., 2014; 2016).

Analisis saintifik bata di Kompleks Percandian Batujaya bagi tapak Candi Lingga (107°08'48" U dan 06°03'18" T) (Muhammad Syafiq & Zuliskandar, 2015; 2019), Candi Lempeng (06°03'24" Utara dan 107°08'58" Timur) (Muhammad Shafiq et al., 2014; 2015) dan Candi Blandongan (Muhammad Shafiq et al., 2015) turut mendedahkan kehadiran mineral yang hampir sama dengan analisis yang dijalankan terhadap Candi Asem. Analisis tersebut juga akhirnya membawa kepada bukti penggunaan bahan asas tempatan terutama di sekitar Sungai Citarum dalam proses penghasilan bata candi berkenaan (Ni Komang Ayu Astiti, 2020). Oleh yang demikian, pada peringkat Asia Tenggara itu sendiri telah terbukti berlakunya kearifan tempatan dalam teknologi pembuatan bata candi yang bahan asas tanah liatnya diperoleh daripada kawasan setempat struktur candi itu dibina.

Bukti kearifan tempatan pada penghasilan bata daripada sumber setempat juga tidak terhad kepada candi pada zaman tamadun awal semata-mata. Ini terjadi kerana kajian terkini terhadap sampel bata monumen yang dibina pada zaman kolonial turut mendedahkan bukti penghasilannya daripada bahan asas yang ada di sekitar monumen berkenaan. Analisis XRD terhadap sampel bata Gereja di Laguna, Filipina sebagai contoh yang mendedahkan unsur mineral oksida besi dalam sampel bata jelas mempunyai persamaan dengan kandungan tanah di kawasan Botocan dan Pagsanjan (Cayme et al., 2021) yang berada berdekatan dengan kawasan gereja tersebut didirikan. Perkara ini jelas menunjukkan bahawa kemudahan mendapatkan bahan asas aluvium bagi tujuan pembuatan bata merupakan satu kriteria penting dalam pemilihan kawasan



Rajah 8: Graf CaO melawan K₂O bagi sampel bata dan atap genting yang menunjukkan ia daripada sumber bahan asas yang sama

Sumber: Penulis

petempatan, selain faktor geomorfologi yang lain.

Dengan ini, berdasarkan analisis terhadap sampel bata dan atap genting, jelas diperlihatkan kearifan tempatan telah diadun dalam perkembangan teknologi penghasilan artifak berkenaan. Hal ini demikian kerana hasil analisis jelas menunjukkan bahan asas yang digunakan bagi penghasilan bata menggunakan tanah liat dari Sungai Batu itu sendiri dan dibakar menggunakan relau bagi membolehkan suhu setinggi 1,400°C dicapai. Bagi atap genting pula, buat pertama kalinya data analisis saintifik direkodkan bagi bahan asas pembuatannya. Penghasilannya juga menggunakan bahan asas dari Sungai Batu dan turut dibakar di dalam relau berdasarkan kehadiran mineral bertekanan tinggi. Perkara ini menunjukkan telah berlakunya proses perkembangan teknologi penghasilan bata dan atap genting di KASB sekurang-kurangnya sejak 582 sebelum Masihi berdasarkan pentarikhan kronometrik tapak jeti (Mohd Hasfarisham, 2019).

Perkara ini amat berkait rapat dengan proses interaksi berterusan antara masyarakat Kedah Tua dengan para pedagang (Wales, 1940) yang menyebabkan proses pemindahan teknologi berlaku dengan pantas. Malah, kajian di KASB turut menolak pandangan Zuliskandar dan Nik Hassan Shuhaimi (2012) berkaitan dengan

penghasilan bata untuk binaan monumen Kedah Tua adalah lebih lewat daripada batuan semula jadi (batu laterit, batu lumpur dan batu sabak). Hal ini demikian kerana menurut Zuliskandar dan Nik Hassan Shuhaimi (2012), bukti penggunaan bata sebagai bahan asas monumen Kedah Tua hanya bermula sejak kurun keenam Masihi. Interpretasi ini jelas bertentangan dengan data pentarikhan struktur monumen daripada bata di KASB yang memberikan usia pembinaan dan penggunaannya sejak kurun keenam sebelum Masihi (Mohd Hasfarisham *et al.*, 2024). Perkara ini menunjukkan kebudayaan dan kearifan tempatan masyarakat Kedah Tua telah berkembang semenjak sebelum kurun pertama Masihi lagi akibat proses perdagangan yang berlangsung secara berterusan.

Perkara ini juga disokong dengan adanya bukti penghasilan bata di rantau Asia Tenggara semenjak sebelum kurun pertama Masihi seperti tapak Pyu. Antaranya Halin, Taungwingyi, Sriksetra, Meingmaw, Waddi dan Thegon yang dibina seawal kurun kedua sebelum Masihi (Hudson, 2012). Perkara ini secara jelas menunjukkan bahawa rantau Asia Tenggara telah mula didedahkan dengan aktiviti penghasilan bata. Bukti arkeologi di KASB telah menyokong data berkenaan sekali gus menjadi kerajaan terawal di Asia Tenggara yang mengeksploitasi bahan asas tanah liat untuk

dijadikan bata dan atap genting. Ini bertujuan mendirikan monumen bagi menyokong perkembangan ekonomi perdagangan kerajaan Kedah Tua. Ini juga menunjukkan masyarakat Kedah Tua di KASB telah mempunyai ahli geologinya yang berupaya mengenal pasti mineral terutama berasaskan tanah liat yang boleh diolah menjadi bata sejak kurun keenam sebelum Masihi. Tambahan lagi, senario ini memperlihatkan kearifan tempatan penduduk Kedah Tua yang mempunyai ahli geologi yang mempunyai pengetahuan tinggi terhadap pemilihan tanah liat yang bersesuaian untuk dijadikan bata, dibakar di dalam relau selain mempunyai arkitek yang akan mendirikan struktur monumen secara terancang (Mohd Hasfarisham *et al.*, 2024) sebagai alat bantu melicinkan urusan perdagangan di kompleks ini. Hasil kajian juga telah mengukuhkan penyelidikan di bahagian utara KASB ini yang turut mendedahkan bukti penggunaan bahan asas tempatan di sekitar kompleks bagi tujuan pembuatan bata dan atap genting (Shamsul Anuar, 2015; Ratnah *et al.*, 2018).

Kesimpulan

Analisis XRD yang dijalankan terhadap sampel bata dan atap genting di tapak SB2ZZ telah berupaya menentukan secara tepat bahan asas yang digunakan adalah daripada aluvium Kuarternar, iaitu di sekitar Sungai Batu kuno yang berada dalam jarak lebih kurang 100 m dari lokasi tapak SB2ZZ. Selain itu, bata dan atap genting berkenaan turut dibakar sehingga suhu 1,400°C yang membolehkan interpretasi dikemukakan berkaitan dengan penggunaan relau dalam proses pembakarannya. Penggunaan relau sebagai alat bantu untuk menjadikan bahan siap ialah data baru yang memperlihatkan kepelbagaian teknologi telah diaplikasi dalam sektor pembuatan dan pembinaan monumen Kedah Tua khasnya. Hal ini demikian kerana kajian terdahulu hanya mencadangkan pembakaran terbuka sebagai satu-satunya cara untuk membakar bata. Selain itu, analisis saintifik yang dijalankan terhadap artifak atap genting juga membolehkan buat kali pertamanya

maklumat berkaitan dengan teknologi dan bahan asas pembuatan artifak berkenaan direkodkan, iaitu dihasilkan menggunakan bahan asas tempatan dan dibakar sehingga mencapai suhu setinggi 1,400°C di dalam relau. Berdasarkan analisis saintifik yang dijalankan, dibuktikan bahawa proses pembuatan bata dan atap genting di KASB telah menggunakan sumber tanah liat yang diambil dari sekitar Sungai Batu.

Penghargaan

Penulis berterima kasih kepada Mantan Pengarah Pusat Penyelidikan Arkeologi Global (PPAG), Universiti Sains Malaysia, Pulau Pinang, Malaysia kerana menyediakan semua kemudahan yang diperlukan untuk menjalankan penyelidikan ini dengan jayanya. Kajian ini dibiayai menggunakan peruntukan kewangan penyelidikan Grant of Malaysian dan Global Archaeological Research (1001/PARK/870015) dan (304/PARKEO/650953/L127).

Pernyataan Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan bahawa mereka tidak mempunyai kepentingan kewangan atau hubungan peribadi yang berpotensi mempengaruhi kerja yang dilaporkan dalam artikel ini.

Rujukan

- Abdul Mutalib Abdullah, Ahmad Fadly Jusoh, Mohd Sairul Ramli & Mokhtar Saidin. (2018). Analisis saintifik sampel dari Tapak Arkeologi Sungai Batu, Kedah menggunakan aplikasi sinar-x. *Jurnal Antarabangsa Dunia Melayu*, 11(2), 252-270.
- Adi Taha. (1991). Perkembangan sejarah awal negeri Kedah berdasarkan penemuan bahan-bahan arkeologi. *Dokumentasi Konvensyen Sejarah Negeri Kedah Darul Aman, Kedah*. Lembaga Muzium Negeri Kedah, 20-28.
- Ahmad Fadly Jusoh, Nur Izzati Hazlina Marudin, Sairul Ramli, Abdul Mutalib Abdullah, Nurashiken Ahmad, Hamzah Mohamad,

- Mokhtar Saidin, Stephen Chia & 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-II (SKETMA)*. 25-28 Ogos 2013, 1-6.
- Ahmad Hakimi Khairuddin. (2008). Tapak prasejarah Guar Kepah: Kesenambungan perkembangan tempatan. Dalam Nik Hassan Shuhaimi Nik Abdul Rahman (Ed.), *Lembah Bujang: Dari perspektif arkeologi dan pelancongan* (pp. 3-44). Bangi: Institut Alam dan Tamadun Melayu.
- Allen, J. S. (1988). *Trade and site distribution in early history-period Kedah: Geoarchaeology, historic and locational evidence* [Tesis Kedoktoran, University of Hawaii, Honolulu].
- Almashoor, S. S. (1973). *Geology of Gunung Jerai* [Tesis Sarjana, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi].
- Azmiah Jamil & Azman Abd Ghani. (2014). *Petrology, geochemistry & geochronology of Jerai Granite, Kedah*. Kuala Lumpur: Jabatan Geologi, Fakulti Sains, Universiti Malaya.
- Bailey, S. W. (1963). Polymorphism of the Kaolin minerals. *American Mineralogist*, 48, 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.
- Bergaya, F., & Lagaly, G. (2013). *Handbook of clay science* (2nd ed. Volume 5). Part A: Fundamentals. Oxford: Elsevier Publications.
- Bintarti, D. D. (2008). *Nekara Perunggu dari Yunan Sampai Papua, Prasejarah Indonesia dalam Lintas Asia Tenggara-Pasifik*. Asosiasi Prehistorisi Indonesia, 143-149.
- Bradford, E. F. (1972). *Geology and mineral resource of the Gunung Jerai area, Kedah*. Geological Survey Headquarters, Ipoh.
- Bunaciu, A. A., Udristioiu, E. G., & Einein, B. H. Y. (2015). X-ray diffraction: Instrument and applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 45(4), 289-299.
- Burton, C. K. (1988). The geology and mineral resources of the Bedung area, Kedah, West Malaysia. Ministry of Primary Industries Malaysia. *Geological Survey of Malaysia, Map Bulletin 7*, 1-103.
- Carty, W. M., & McConville, C. J. (2001). Thermal transformations in kaolinite clay minerals. Dalam Carty, W. M. (Ed.), *Materials and equipment and whitewares: Ceramic engineering and science proceedings*, 22(2), 149-160.
- Casper, M. J. (2001). Thermal transformation in kaolinite clay minerals. Dalam Carty, W. M. (Ed.), *Ceramics engineering & science. Proceedings: Materials & equipment and whiteware*, 22(2), 149-158.
- Castellanos, A., Mauricio, O., Rios, R., Alberto, C., Ramos, G., Angel, M., Plaza, P., & Vinicio, E. (2012). A comparative study of mineralogical transformations in fired clays from the Laboyos Valley, Upper Magdalena Basin (Colombia). *Boletin de Geologia, Universidad Industrial de Santander Bucaramanga, Colombia*, 34(1), 43-55.
- Cayme, J. M. C., Bermejo, A. F., Francia, C. A. E. T., Asor Jr, A. N., & Miranda, E. T. (2021). Spanish colonial period bricks from churches in Laguna, Philippines: A preliminary chemical characterisation using x-ray diffraction, energy dispersive x-ray fluorescence and Fourier transform infrared. *Journal of Physical Science*, 32(2), 105-124.
- Che Aziz Ali, Hamzah Mohamad & Nor Khairunnisa Talib. (2019). Warisan geologi. Dalam Mokhtar Saidin & Ibrahim Komoo (Eds.), *Jerai Geopark warisan geologi, geoarkeologi dan biologi* (pp.19-70). Pulau

- Pinang: Penerbit Universiti Sains Malaysia. ISSN: v978-967-461-366-2.
- Chen, F. H. (1975). *Foundation on expansive soils, developments in geotechnical engineering*. New York: Elsevier Scientific Publication Company.
- Courtier, D. B. (1974). Geology and mineral resources of the neighbourhood of Kulim, Kedah. *Geological Survey of Malaysia Map Bulletin* 3.
- Cultrone, G. C., Navarro, R. E., Cazalla, O., & Torre, M. J. D. L. (2001). Carbonate and silicate phase reactions during ceramic firing. *European Journal of Mineralogy*, 13, 621-634.
- Dapiaggi, M., Pagliari, L., Pavese, A., Sciascia, L., Merli, M., & Francescon, F. (2015). The formation of silica high-temperature polymorphs from quartz: Influence of grain size and mineralising agents. *Journal of the European Ceramic Society*, 35(16), 4547-4555. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceram soc.2015.08.015>
- Dombrowski, T. (2000). The origins of Kaolinite-Implications and utilization. Dalam Carty, W. M., & Sinton, C. W. (Ed.), *Science of Whitwares II* (pp. 3-12), Westerville: American Ceramic Society.
- Evans, I. H. N. (1922). On the ancient structure on Kedah peak. *Journal of Federated Malay State Museum*, 10, 251-256.
- Farley, W. (2008). *Quartz, Bitterroot Gem and Mineral Society*. Diakses pada 15 Januari 2024 daripada World Wide Web: <http://www.bitterrootgms.org/quartz.html>
- Grim, R. E. (1992). *Mineralogi Lempung*. Pulau Pinang: Penerbit Universiti Sains Malaysia. Tuan Besar Tuan Sarif dan Radzali Othman (Terj.).
- Hudson, B. (2012). A thousand years before Bagan: Radiocarbon dates and Myanmar's Ancient Pyu Cities. In Miksic, J. N., & Aung-Thwin, M. (Eds.), *Bagan and the World: Early Myammar and its global connections* (pp. 88-121), Singapore: ISEAS-Yusof Ishak Institute.
- Iklil Izzati Zakaria. (2014). *Kajian arkeologi di Tapak Jeti SB2B dan SB2D, Kompleks Sungai Batu, Lembah Bujang* [Tesis Sarjana, Universiti Sains Malaysia]. Pulau Pinang.
- Iklil Izzati Zakaria, Naizatul Akma Mohd Mokhtar & Mokhtar Saidin. (2018). Teknologi pembuatan bata di Tapak Sungai Batu, Kedah: Satu eksperimen arkeologi. Dalam Hamid Mohd Isa, Nasha Rodziadi Khaw & Nazarudin Zainun (Eds.), *Etnoarkeologi di Malaysia: Cerminan budaya material masyarakat peribumi* (pp. 25-36). Penerbit UTHM.
- Irby, F. W. (1905a). The ruins on Gunong Jerai, Kedah. *Journal of the Federal Malay State Museum*, 1, 79-81.
- Irby, F. W. (1905b). A short account of some "Ancient Remains" found on Gunong Jerai. *Journal of the Federal Malay State Museum*, 1, 79-81.
- Izwan Johari, Syamsuhaili Said, Ramadhansyah Putra Jaya, Badarol Hisham Abu Bakar & Zainal Arifin Ahmad. (2011). Chemical and physical properties of fired-clay brick at different types of rice husk. *2011 International Conference on Environment Science and Engineering*, 8, 171-174.
- Jimmin, M., Rosli, S., Nordianah, M. M., Mohammad, S. B., & Mokhtar, S. (2017). 3-D resistivity imaging on archaeology characterization at Sungai Batu area in Kedah. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 226, 1-6.
- Kamaruddin Zakaria. (1989). Lembah Bujang: Kompleks Percandian Bukit Choras, Kedah Darulaman: Laporan awal. *Jurnal Arkeologi*, 2, 25-46.
- Lamb, A. (1959). Some notes on the distribution of Indianised sites in Kedah. *Journal of the South Seas Society*, 15, 99-106. The South Seas Society, Singapore.

- Leong Sau Heng. (1973). *A study of ceramics deposit from Pengkalan Bujang, Kedah* [Tesis Sarjana, Universiti Malaya]. Kuala Lumpur.
- Livingston, R. A., Stutzman, P. E., & Schumann, I. (1998). *Quantitative X-Ray Diffraction Analysis of Handmolded Brick, Conservation of History Brick Structures*. Chapter 11. Donhead Publishing, Ltd., Shafesbury, 107-119.
- Low, J. (1848). An account of several inscriptions found in Province Wellesley on the Peninsula of Malacca. *Journal of the Asiatic Society of Bengal*, 18(2), 62-66.
- Low, J. (1949). On an inscription from Keddah. *Journal of Asiatic Society of Bengal*, 18(1), 247-249.
- Marlon Ririmasse. (2015). Biografi Budaya Bendawi: Diaspora Makara di Kepulauan Maluku. *Berkala Arkeologi*, 35(2), 95-116.
- McConville, C. J. (2001). *Thermal transformations in Kaolinite clay minerals*. Kertas Kerja yang dibentangkan di 102nd Annual Meeting of the American Ceramic Society. St. Louis, Missouri. 29 April-3 Mei 2001.
- Midya Hasdy Molyadi. (2006). *Pembakaran reduksi: Menilai estatika tradisional dari sudut pandangan kontemporari*. Ijazah Sarjana Muda Seni Gunaan dengan kepujian (Seni Halus), Universiti Malaysia Sarawak, Kota Samarahan.
- Mohd Hasfarisham Abd Halim. (2014). *Ekskavasi Tapak Seni Bina Jeti SB2E, SB1H, SB1J, SB1K dan SB1L, Kompleks Sungai Batu, Lembah Bujang, Kedah*. Universiti Sains Malaysia, Pulau Pinang, Malaysia.
- 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]. Pulau Pinang, Malaysia.
- Mohd Hasfarisham Abd Halim, Naizatul Akma Mohd Mokhtar, Ikilil Izzati Zakaria, Siti Nurul Siha Mohamad, Nur Saerah Abd Hamid, Shyeh Sahibul Karamah Masnan & Mokhtar Saidin. (2023b). Ancient Kedah Iron Smelting Experiment in preparation for offering archaeological tourism heritage packages at Sungai Batu Archaeological Complex (SBAC), Bujang Valley, Kedah, Malaysia. *GeoJournal of Tourism and Geosite*, 47(2), 622-631. <https://doi.org/10.30892/gtg.47230-1062>
- Mohd Hasfarisham Abd Halim, Naizatul Akma Mohd Mokhtar, Nor Khairunnisa Talib, Shyeh Sahibul Karamah Masnan, Ahmad Fadly Jusoh & Mokhtar Saidin. (2024). Evolution of the “Ancient Kedah”: A study on urban forms at Sungai Batu Archaeological Complex (SBAC), Bujang Valley, Kedah, Malaysia. *Frontiers of Architectural Research*, 13(1), 127-143. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2023.10.006>
- Mohd Hasfarisham Abd Halim, Naizatul Akma Mohd Mokhtar, Shyeh Sahibul Karamah Masnan, Ahmad Fadly Jusoh & Mokhtar Saidin. (2023a). X-Ray Fluorescence (XRF) Analysis of Iron Ore at Ancient Kedah Iron Smelting Site, Sungai Batu Archaeological Complex, Bujang Valley, Kedah, Malaysia, *Heliyon*, 9(4), e14850. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14850>
- Mohd Hasfarisham Abd Halim, Shyeh Sahibul Karamah Masnan, Nor Khairunnisa Talib & Mokhtar Saidin. (2021). Sungai Batu Archaeological Complex as a major industrial area for the Kedah Tua Kingdom based on core drilling data. *Kapata Arkeologi*, 17(2), 71-84. <https://doi.org/10.24832/kapata.v17i2.71-84>
- Muhamad Shafiq Mohd Ali & Zuliskandar Ramli. (2015). Analisis Komposisi Bata Purba di Candi Lingga (TLJ II), Kompleks Percandian Batujaya, Indonesia. *Jurnal Arkeologi Malaysia*, 28, 102-111.

- Muhamad Shafiq Mohd Ali & Zuliskandar Ramli. (2019). Kearifan tempatan Masyarakat Batujaya dalam pembuatan Bata Candi. Kertas Kerja yang dibentangkan di *Seminar Antarabangsa Susatera, Bahasa dan Budaya Nusantara*, Pusat Penyelidikan Langkawi, 1-2 Ogos 2019.
- Muhamad Shafiq Mohd Ali, Zuliskandar Ramli & Bambang Budi Utomo. (2014). Compositional Analysis of Ancient Bricks from SEG-II Temple (Unur Lempeng), Batujaya, Indonesia. *Proceeding 7th International Seminar on Ecology, Human Habitat and Environmental Change in the Malay World*, 199-207.
- Muhamad Shafiq Mohd Ali, Zuliskandar Ramli & Bambang Budi Utomo. (2015). Analisis Komposisi Bata Purba di Candi Blandongan (SEG V). *Prosiding Seminar Antarabangsa Ke-4 Arkeologi, Sejarah dan Budaya di Alam Melayu*, ms. 379-386.
- Muhamad Shafiq Mohd Ali, Zuliskandar Ramli & Bambang Budi Utomo. (2016). Analisis Komposisi Bata Purba di Candi Asem (TLJ V), Kompleks Percandian Batujaya, Indonesia. *Jurnal Arkeologi Malaysia*, 29(1), 33-41.
- Mokhtar Saidin. (2011). *Dari Zaman Batu ke Tamadun Awal di Malaysia pemerkaasaan jati diri bangsa*. Pulau Pinang: Universiti Sains Malaysia.
- Mokhtar Saidin. (2016). Kedah Tua Kingdom: New evidence from Sungai Batu Complex. Kertas Kerja yang Dibentangkan di *Kedah Tua International Conference*. Kedah, Malaysia, Hotel Park Avenue, Sungai Petani. 21-22 Mei 2016.
- Mokhtar Saidin, Mazlan Mahmud, Muhammad Razak & Azharin Arshad. (2022). Merungkai Rahsia Sejarah Alam Melayu dan Nusantara, Siri 2: Tamadun Kedah Tua, Peradaban Manusia & Besi. *Kedah Tua Webinar*, Ahad, 20 Mac 2022.
- Mokhtar Saidin. (2023). The Secrets of 2,800 Years Old of Sungai Batu Archaeology Since 788 BC. Kertas Kerja yang dibentangkan di *Ancient Kedah Early Civilization Series*, 25 Febuari 2023, Memorial Tunku Abdul Rahman, Kuala Lumpur.
- Naizatul Akma Mohd Mokhtar. (2019). *Kajian Industri Peleburan Besi di Kompleks Sungai Batu, Lembah Bujang daripada perspektif arkeometalurgi* [Tesis Kedoktoran, Universiti Sains Malaysia]. Pulau Pinang, Malaysia.
- Ni Komang Ayu Astiti. (2000). Teknologi pembuatan Batu Bata Candi Jiwa, Situs Batujaya (Berdasarkan Analisis Laboratorium). *Kalpataru*, 15, 24-30.
- Nik Hassan Shuhaimi Nik Abd Rahman. (1984). *Art, archaeology and the Early Kingdoms in the Malay Peninsula and Sumatra: c. 400-1400 AD* [Tesis Kedoktoran, University of London, England].
- Nini Havela Dishong, Ahmad Fadly Jusoh, Nasha Rodziadi Khaw, Suresh Narayanan, Ahmad Syahir Zulkipli, Mokhtar Saidin, Nor khairunnisa Talib, Shyeh Sahibul Karamah, Esnita Sonie, Wani Maler, Alistair Cangat, Hisham Atan Edinur, Mohd Fahmi Mohd Yusof & Nurulamani Roslan. (2022). Investigating the geochemical content of Ancient Laterite Bricks from Bukit Choras Archaeological Site using X-Ray Diffraction (XRD) and X-Ray Fluorescence (XRF). *Journal of Sustainability Science and Management*, 17(1), 236-258. <http://doi/10.46754/jssm.2022.01.016>
- Noran Nabilla Nor Azlan, Norbert Simon, Azimah Hussin, Rodeano Roslee & Lee Khai Ern. (2017). Pencirian sifat kimia bahan tanah pada Cerun Gagal di sepanjang jalan Ranau-Tambunan, Sabah, Malaysia. *Sains Malaysiana*, 46(6), 867-877.
- Nordianah, M. M., Rosli, S., Mokhtar, S., & Nur Aminuda, K. (2014). Archaeomagnetic studies of Anomaly at Sungai Batu, Lembah Bujang, Kedah (Malaysia). *Electronic Journal of Geotechnical Engineering (EDJE)*, 19, 2315-2323.
- Nurashiken Ahmad. (2016). *Kajian arkeologi di Tapak SB1R, SB1S, SB1T, SB1U, SB1V dan*

- SBIZ di Kompleks Sungai Batu, Lembah Bujang, Kedah* [Tesis Sarjana, Universiti Sains Malaysia]. Pulau Pinang.
- Peacock, B. A. V. (1980a). New light on the ancient settlement of Kedah and Province Wellesley. Dalam *Persatuan Sejarah Malaysia* (Ed.), *Lembah Bujang the Bujang Valley* (pp. 82-88). Kuala Lumpur: Persatuan Sejarah Malaysia.
- Peta Geologi, Sheets 2-1/2 & 2-1/6, Tahun 1972.
- Peta Topografi. No. Syit 16, Tahun 1970.
- Ratnah Wati Mohd Rapi, Ahmad Fadly Jusoh & Mohtar Saidin. (2020). Mineralogical and geochemical properties of bricks from Sungai Batu Monuments. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 69, 149-156.
- Ross, C. S., & Hendricks, S. B. (1945). *Mineral of the Montmorillonite Group, the origin and relation to soils and clays*. Washington: United States Government Printing Office.
- Safeer A., Yaseen, I., & Fazal, G. (2008). Phase and microstructure of Brick-Clay soil and fired Clay-Bricks from some areas in Peshawar, Pakistan. *Journal of the Pakistan Materials Society*, 2(1), 33-39.
- Schietz, N. C., & Soliman, M. R. (1964). Thermodynamics of the various high-temperature transformations of Kaolinite. *Clays and Clay Minerals*, 13(1), 419-428.
- Schietz, N. C. (1966). Thermodynamics of the various high-temperature transformations of Kaolinite. *Clays and Clay Minerals: Proceedings of the 13th National Conference on Clays and Clay Minerals Conducted by the Clay Mineral Society*. Madison, Wisconsin, 5-8 Oktober 1964, Oxford, London, 419-428.
- 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 SBIM dan SBIN, Kompleks Sungai Batu, Lembah Bujang, Kedah* [Tesis Sarjana, Universiti Sains Malaysia]. Pulau Pinang.
- Siti Azizah Mohd Nor, Suzila Abd Hamid, Mokhtar Saidin, Mohd Zulhafiz Said & Shyeh Shahibul Karamah Masnan. (2019). Warisan biologi dan budaya. Dalam Mokhtar Saidin & Ibrahim Komoo (Eds.), *Jerai Geopark warisan geologi, geoarkeologi dan biologi* (pp.119-171). Pulau Pinang: Penerbit Universiti Sains Malaysia.
- Siti Hajar Shahrin. (2019). *Digital technology for the reconstruction and interpretation of Sungai Batu Archaeological Site* [Tesis Sarjana, Universiti Sains Malaysia]. Pulau Pinang.
- Siti Nurul Siha Mohamad. (2014). *Ekskavasi Tapak SB1C, SB1D, SB1E dan SB1F di Sungai Batu, Lembah Bujang, Kedah* [Tesis Sarjana, Universiti Sains Malaysia]. Pulau Pinang.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Nieman, T. A. (1998). *Principles of Instrumental Analysis* (Edisi Kelima). Belmont, Ca: Thomson Brooks.
- Soejono, R. P. (1994). Prasejarah Irian Jaya. Dalam Kontrjaraningrat, D. K. K. (Ed.), *Irian Jaya membangun masyarakat majemuk*. Jakarta: Seri Etnografi Indonesia 5.
- Song, J. T. (2009). The use of lime in the Joseon Dynasty. *Ceramist*, 12(1), 115.
- Suhana Yusof. (2016). *Ekskavasi Tapak Monumen SB1P, SB1Q, SB1W dan SB1X di Kompleks Sungai Batu, Lembah Bujang, Kedah* [Tesis Sarjana, Universiti Sains Malaysia]. Pulau Pinang.
- Sullivan, M. (1958). Excavation in Kedah and Province Wellesley, 1957. *Journal of the Malaysian Branch of the Royal Asiatic Society*, 51, 188-219.
- Terry Mart. (2001). *Intisar ilmu batuan, mineral dan fosil*. Indonesia: Penerbit Erlangga.

- Umar Hamzah, Khor Kang Leam & Sahibin Rahim. (2010). Sifat-sifat dan kandungan kimia Lempung Kaolin Segamat, Johor, Malaysia. *Sains Malaysiana*, 39(1), 31-38.
- Vokac, M., Klouzkova, A., Hanykyr, V., & Bouska, P. (2009). Dilatometric analysis of ceramic roof tiles for determining irreversible moisture expansion. *Journal Ceramics-Silikaty*, 53(4), 303-309.
- Wan Fuad Wan Hassan & Kadderi Md. Desa. (1995). *Mineralogi Konsep Pemerihalan dan Penentuan*. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka, Kementerian Pendidikan Malaysia.
- Wan Fuad Wan Hassan & Tan, T. H. (1997). *Geologi dalam penjelajahan mineral*. Bahagian 1. Dewan Bahasa dan Pustaka, Kementerian Pendidikan Malaysia, Kuala Lumpur.
- Zaiton Harun & Basir Jasin. (2000). The occurrence of thrusts in North Kedah and Perlis. *Geological Society of Malaysia Annual Geological Conference 2000*, 8-9 September 2000, Pulau Pinang, Malaysia, 17-20.
- Zhou, H. M., Qiao, Z., & Yu, J. G. (2013). Influences of Quartz and Muscovite on the formation of mullite from Kaolonite. *Applied Clay Science*, 80-81, 176-181. <http://doi.org/10.1016/j.clay.2013.04.004>
- Zolkurnian Hassan. (2018). Tapak SB1B Sungai Batu, Kedah Malaysia: Pertaliannya kepada sejarah senibina dan sosio-budaya Tanah Besar Asia Tenggara. *Jurnal Persatuan Muzium Malaysia (PURBA)*, 37, 20-43.
- Zuliskandar Ramli, Abdul Latif Samian, Suhaini Md Noor & Ambar Yarmo. (2011). Scientific Analysis of Ancient Bricks at Bukit Pendiak Temple (Site 17) and Pengkalan Bujang Temple (Site 23): A comparative study. *Research Journal of Applied Sciences*, 6(7), 473-478.
- Zuliskandar Ramli & Nik Hassan Shuhaimi Nik Abd Rahman. (2012). *Zaman Proto Sejarah di Malaysia satu pengenalan*. Institut Alam dan Tamadun Melayu, Bangi: Universiti Kebangsaan Malaysia, 156-246. ISBN: 978-983-2457-51-0.
- Zuliskandar Ramli, Nik Hassan Shuhaimi Nik Abd Rahman, Adnan Jusoh & Mohd Zobir Hussein. (2012a). Compositional Analysis on Ancient Bricks from Candi Sungai Mas (Site 32/34), Bujang Valley, Kedah. *American Journal of Applied Science*, 9(2), 196-201.
- Zuliskandar Ramli, Nik Adzrieman Abd Rahman, Adnan Jusoh & Yunus Sauman Sabin. (2012b). Analisis Komposisi Bahan Bata di Tapak 2211, Pengkalan Bujang, Kedah. Dalam Nik Hassan Suhaimi Nik Abd Rahman, Zuliskandar Ramli & Mohd Samsudin (Eds.), *Prosiding Seminar Antarabangsa, Arkeologi, Sejarah dan Budaya di Alam Melayu*. Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, 452-465.
- Zuliskandar Ramli & Nik Hassan Suhaimi Nik Abd Rahman. (2013). Composition Analysis of Ancient Brick, Candi Bukit Kechil, Bujang Valley, Kedah. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 6(5), 924-930.
- Zuliskandar Ramli, Nik Hassan Shuhaimi Nik Abd Rahman, Abdul Latif Samian Muhammad Rizal Razman, Sharifah Zarina Syed Zakaria & Ahmad Rizal Mohd Yusof. (2013a). Scientific studies of Candi Pengkalan Bujang (Site 19) Ancient Bricks: Knowledge of Old Kedah Community's in usage of local raw materials. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 6(15), 2859-2864.
- Zuliskandar Ramli, Nik Hassan Shuhaimi Nik Abd Rahman, Adnan Jusoh & Yunus Sauman. (2013b). Analisis Komposisi Bahan Bata Purba, Candi Bukit Kechil, Lembah Bujang, Kedah. *International of Malay World and Civilization (IMAN)*, 1(2), 3-9.
- Zuliskandar Ramli, Nik Hassan Suhaimi Nik Abd Rahman, Adnan Jusoh, Yunus Sauman & Muhammad Rizal Razman. (2013c).

- Kearifan tempatan dalam pembinaan Candi Sungai Batu, Lembah Bujang, Kedah. Dalam Jamaluddin Md. Jahi, Muhammad Rizal Razman, Zuliskandar Ramli, Kadir Arifin, Azahan Awang, Deni Efizon, Ali Yusri, Yoserizal & Kadaruddin Aiyub (Eds.), *Prosiding Seminar Antarabangsa Ke-6 Ekologi, Habitat Manusia & Perubahan Persekitaran di Alam Melayu*. Institut Alam dan Tamadun Melayu, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, 117-128.
- Zuliskandar Ramli, Nik Hassan Shuhaimi Nik Abdul Rahman, Abdul Latif Samian & Ambar Yarmo. (2013d). X-ray diffraction and X-ray fluorescence of Ancient Bricks of Candi Bukit Pendiak (Site 17), Bujang Valley, Kedah. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 6(6), 1094-1100.
- Zuliskandar Ramli, Nik Hassan Suhaimi Nik Abd Rahman, Abdul latif Samian, Muhammad Rizal Razman, Sharifah Zarina Syed Zakaria & Ahmad Rizal Mohd Yusof. (2014). Usage of local raw material in the construction of Candi Pengkalan Bujang (Site 18), Bujang Valley, Kedah. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 7(9), 1179-1786.
- Zuliskandar Ramli, Mohd Numan Mohd Nasir, Abdul Latif Samian, Nor Zalina Harun, Mohd Shamsul Bahari Mohd Hadi, Nuratikah Abu Bakar Bakar & Sarahah Mohd Supian. (2018). XRD and XRF Analysis of the ancient bricks from Candi Kampung Baru, Kedah. *Journal of the Malaysian Institute of Planners*, 16(1), 314-323.