

## **Kesan Ketebalan Mortar Terhadap Kekuatan Mampatan Dinding Bata Tanah Liat Tertekan Tanpa Bakar (UCCB) terhasil daripada Abu Dasar Arang Batu (CBA) Sebagai Pengganti Pasir**

**Saiful Hazman Mokhtar\* dan Ernie Kulian**

*Politeknik Sultan Haji Ahmad Shah, Kuantan, Pahang.*

### **ABSTRAK**

*Objektif utama kajian ini adalah untuk mengkaji kesan penggunaan sisa industri iaitu abu dasar arang batu (CBA) terhadap kekuatan mampatan dan modulus keanjalan dinding bata yang dihasilkan daripada pelbagai ketebalan mortar. Sebanyak 240 sampel bata tanah liat termampat tanpa bakar (UCCB) dengan menggunakan abu dasar arang batu sebanyak 20%, 40%, 60%, 80% dan 100% sebagai ganti pasir dihasilkan. Peratus tanah liat dan simen yang digunakan dalam penghasilan bata tersebut masing-masing 30% dan 10%. Sebanyak 36 buah dinding bata dihasilkan dengan menggunakan tiga ketebalan mortar yang berbeza iaitu 4 mm, 8 mm dan 12 mm. Dinding daripada unit bata yang mengandungi 20% abu dasar arang batu memberikan kekuatan mampatan maksimum iaitu 7.48 MPa dengan peratus pertambahan kekuatan berdasarkan sampel kawalan sebanyak 63.5%. Pertambahan ketebalan ikatan mortar dinding bata pula menunjukkan penurunan kekuatan mampatan terutama bagi ketebalan ikatan 8 mm kepada 12 mm.*

### **PENGENALAN**

Di Malaysia terdapat dua kaedah penghasilan batu-bata iaitu dengan cara pembakaran dan tanpa bakar. Jenis bata tanpar bakar mula digunapakai pada masa kini kerana kos penghasilannya yang murah berbanding batu-bata bakar. Selain daripada faktor kos, penghasilannya yang tidak melibatkan pembakaran membantu mengurangkan pencemaran udara daripada berlaku. Menurut Lawrence et al. (2008) dinding bata tanah liat tanpa bakar merupakan bahan binaan alternatif yang lestari, mesra alam dan memberikan persekitaran yang sihat berbanding penggunaan kaedah konvensional iaitu bata bakar dan batu blok. Menurutnya lagi penggunaan binaan bata tanah liat tanpa bakar meningkatkan potensi persekitaran dalaman bangunan yang lebih sihat dimana pengawalan kelembatan dalam binaan lebih efisien.

Penyelidikan terhadap penggunaan abu dasar arang batu terhadap penghasilan bata tanah liat tanpa bakar masih kurang dilaksanakan di Malaysia. Kajian penggunaan bahan buangan industri ini lebih tertumpu kepada konkrit. Merujuk statistik American Coal Ash Association (ACAA, 2006) dalam kajian yang dilakukan oleh Mohd Syahrul et al, (2010) sebanyak 45% abu dasar relau arang batu digunakan dalam pembinaan jalan raya, dan penambakan. Selain daripada itu, bahan tersebut digunapakai sebagai ganti kepada agregat halus dalam penghasilan konkrit ringan dan menggantikan simen dalam pembinaan struktur. Mohd Syahrul et al, (2010) turut menjalankan kajian ke atas kekuatan mampatan terhadap konkrit menggunakan abu dasar relau arang batu ini dan beliau mendapati sisa industri tersebut boleh digunakan sebagai pengganti agregat halus walaupun terdapat sedikit pengurangan dari segi kekuatannya. Objektif utama kajian ini adalah untuk mengkaji kesan kekuatan mampatan dan modulus keanjalan terhadap unit bata tanah liat tertekan tanpa bakar yang dihasilkan daripada abu dasar arang

---

\*Koresponden: saiful@polisas.edu.my

batu. Objektif kedua mengkaji kesan perbezaan ketebalan ikatan mortar terhadap kekuatan mampatan dan modulus keanjalan dinding bata tanah liat tertekan tanpa bakar yang dihasilkan daripada abu dasar arang batu

### **Skop Kajian**

Kajian yang dijalankan ini melibatkan kerja-kerja pembinaan dinding batu-bata lima lapis daripada bata tanah liat tertekan tanpa bakar dengan menggunakan bancuhan mortar bernisbah 1:6 (simen: pasir). Saiz unit bata yang dihasilkan adalah 100 mm x 50 mm x 30 mm. Bahan mentah bagi penghasilan unit bata tersebut adalah daripada tanah liat, pasir sungai, simen Portland Biasa dan abu dasar arang batu. Tanah liat yang digunakan diperolehi daripada Kilang Bata Yong Peng manakala abu dasar arang batu pula diperolehi dari Stesen Janakuasa Tanjung Bin di Pontian Johor. Abu dasar arang batu digunakan bertujuan untuk mengganti pasir dalam penyediaan sampel unit bata tersebut. Kuantiti penggunaan sisa industri tersebut dalam menggantikan pasir adalah sebanyak 20%, 40%, 60%, 80% dan 100%. Jumlah bilangan unit bata tanah liat tertekan tanpa bakar yang dihasilkan adalah sebanyak 240 buah bagi membina 36 buah dinding bata.

Kajian ini dihayati kepada beberapa fasa. Fasa pertama melibatkan kerja-kerja penentuan sifat kejuruteraan bahan mentah. Ujikaji makmal yang terlibat dalam penentuan sifat kejuruteraan tersebut adalah ujian Had Atterberg, ujian analisa ayakan dan ujian pemadatan yang dijalankan ke atas tanah liat, manakala hanya ujian analisa ayakan sahaja dijalankan ke atas pasir dan abu dasar arang batu.

Fasa kedua pula melibatkan kerja penentuan peratus kandungan air yang sesuai digunapakai dalam bancuhan bagi penyediaan sampel bata. Peratus penggunaan air dalam penghasilan bancuhan bata adalah antara 10 % hingga 25 % daripada berat keseluruhan. Ini bertujuan bagi memastikan air yang digunakan dalam penghasilan bancuhan bata tidak terlalu pekat atau cair. Bancuhan yang terlalu pekat mengakibatkan zarah-zarah bahan sukar merekat antara satu sama lain. Manakala bancuhan yang terlalu cair pula akan menyebabkan penghasilan rongga kosong dalam unit bata. Keadaan ini mengakibatkan kekuatan mampatan maksimum sukar diperolehi.

Fasa ketiga dalam kajian ini melibatkan kerja-kerja penghasilan unit bata. Bancuhan daripada bahan mentah dikisar dengan menggunakan mesin sehingga sebati. Setelah sebati, bancuhan tersebut dimasukkan dalam acuan bersaiz 100 mm x 50 mm x 60mm dan dikenakan tekanan menggunakan alat pemampat tanah sehingga 3000 psi. Setelah dimampatkan selama lima minit, sampel bata tersebut dikeluarkan daripada acuan dan diawet dengan menggunakan plastik "polythene" selama tiga hari. Pada hari ke-4, dinding bata lima lapis dibina menggunakan ketebalan ikatan mortar 4 mm, 8 mm dan 12 mm. Dalam masa yang sama, kiub mortar dihasilkan menggunakan acuan 100 mm x 100 mm x 100 mm. Nisbah bancuhan mortar 1: 6 (Simen: pasir) dipilih dalam menjayakan kajian ini.

Ujian kekuatan mampatan dijalankan pada hari ke-7 dan hari ke-28 ke atas sampel unit bata, dinding bata dan kiub mortar dengan menggunakan Mesin Mampatan Shimadzu berkapasiti 1000 kN. Setelah ujian makmal ke atas sampel-sampel bata tersebut selesai, modulus keanjalan ditentukan daripada analisis graf tegasan melawan terikan. Nilai modulus keanjalan tersebut dibandingkan dengan piawai dan model-model sediaada. Tujuan perbandingan tersebut dilakukan adalah bagi melihat adakah piawai dan model-model tersebut sesuai digunapakai dalam rekabentuk dinding bata tanah liat tanpa bakar. Selain daripada itu kesan kekuatan mampatan dinding bata tanah tertekan tanpa bakar yang dihasilkan daripada abu dasar arang batu sebagai pengganti pasir juga diteliti.

### Abu Dasar Arang Batu (CBA)

Melalui ujian terhadap ciri-ciri fizikal, didapati ketumpatan abu dasar arang batu (CBA) lebih rendah jika dibandingkan dengan agregat halus iaitu pasir (Ismail, 2006). Menurut FIP Manual of Lightweight Aggregate Concrete (1983) abu dasar arang batu (CBA) mempunyai ketumpatan 30 % lebih rendah berbanding agregat semulajadi seperti pasir. Kelebihan ini membantu mengurangkan beban mati dalam struktur bangunan. Selain daripada itu pengendalian semasa kerja pembinaan turut berkurangan. Oleh demikian sisa industri ini dikategorikan sebagai agregat ringan. Kandungan silika yang melebihi 60 % dalam abu dasar arang batu merupakan salah satu faktor utama yang membantu penghasilan agregat ringan yang kuat semasa ia lakur pada suhu pensinteran.

Muhardi et al. (2010) telah menjalankan kajian terhadap abu dasar arang batu yang diperolehi daripada Stesen Janakuasa Tenaga Tanjung Bin di Johor. Stesen janakuasa ini menghasilkan abu dasar arang batu sebanyak 180 tan/hari hingga 1620 tan/hari. Jumlah pembakaran arang batu harian adalah sebanyak 18000 tan. Melalui kajian terhadap komposisi kimia dengan menggunakan analisis XRF, kandungan utama abu arang abu terdiri daripada oksida iaitu alumina, besi dan kalsium oksida. Manakala peratusan yang kecil terdiri daripada magnesium, kalium, barium, potassium, sodium dan titanium oksida. Jadual 2.1 menunjukkan komposisi kimia abu arang batu Tanjung Bin berdasarkan analisis daripada ujian XRF.

**Jadual 1** Komposisi kimia abu arang batu Tanjung Bin melalui ujian XRF (Muhardi 2010)

| Kandungan Kimia                | Abu terbang (Fly ash) | Abu dasar (Bottom ash) |
|--------------------------------|-----------------------|------------------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 51.80%                | 42.70%                 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 26.50%                | 23.00%                 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 8.50%                 | 17.00%                 |
| CaO                            | 4.81%                 | 9.80%                  |
| K <sub>2</sub> O               | 3.27%                 | 0.96%                  |
| TiO <sub>2</sub>               | 1.38%                 | 1.64%                  |
| MgO                            | 1.10%                 | 1.54%                  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.90%                 | 1.04%                  |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.67%                 | 0.29%                  |
| SO <sub>3</sub>                | 0.60%                 | 1.22%                  |
| BaO                            | 0.12%                 | 0.19%                  |

### REKABENTUK BANCuhan BATA UCCB

Rekabentuk bancuhan bagi penghasilan sampel bata UCCB seperti ditunjukkan dalam Jadual 2. Sebanyak enam nisbah bancuhan ditetapkan dalam penyediaan sampel bata UCCB untuk melihat kesan penggunaan abu dasar arang batu dalam kajian ini. Jumlah peratus tanah liat yang digunakan bagi penyediaan sampel bata tersebut 30%. Manakala nisbah campuran abu dasar arang batu telah ditetapkan pada 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100% sebagai pengganti kepada pasir. Ketumpatan tanah liat melalui ujian fizikal yang telah dijalankan adalah 1940kg/m<sup>3</sup>. Manakala ketumpatan bagi pasir dan abu dasar arang batu masing-masing adalah 1602kg/m<sup>3</sup> dan 1310kg/m<sup>3</sup>. Nilai ketumpatan ini digunapakai dalam rekabentuk bata UCCB.

Nisbah bahan penstabil yang digunakan adalah simen portland biasa dan ditetapkan sebanyak 10% daripada bahan jumlah berat bahan. Nisbah penggunaan simen tidak boleh terlalu tinggi bagi mengelakkan peningkatan kos penghasilan bata UCCB. Bagi penghasilan bata yang mesra alam, jumlah simen yang perlu digunakan adalah tidak melebihi 15%, manakala untuk tanah liat pula sebanyak 30%. Berat bahan dalam Jadual 2 adalah untuk bancuhan 2 biji bata yang bersaiz 100mm x 50mm x 30mm.

**Jadual 2** Rekabentuk campuran bata UCCB

| Kadar nisbah bancuhan<br>(simen : tanah : pasir : CBA) | Simen<br>(g) | Berat tanah liat<br>(g) | Berat pasir<br>(g) | Berat CBA<br>(g) |
|--------------------------------------------------------|--------------|-------------------------|--------------------|------------------|
| 1:3:7:0                                                | 51.1         | 174.6                   | 336.4              | 0                |
| 1:3:5.6:1.4                                            | 49.9         | 174.6                   | 269.1              | 55.0             |
| 1:3:4.2:2.8                                            | 48.6         | 174.6                   | 201.9              | 110.0            |
| 1:3:2.8:4.2                                            | 47.4         | 174.6                   | 134.6              | 165.1            |
| 1:3:1.4:5.6                                            | 46.2         | 174.6                   | 67.3               | 220.1            |
| 1:3:0:7                                                | 45.0         | 174.6                   | 0                  | 275.1            |



**Rajah 1** Gambarajah menunjukkan ujian kekuatan mampatan dinding bata UCCB.

## DAPATAN DAN ANALISIS

### Analisa Kekuatan Mampatan Unit Bata

Merujuk kepada jadual 3, purata kekuatan mampatan unit bata UCCB pada hari ke-7 antara 6.9 MPa hingga 13.3 MPa. Kekuatan mampatan maksimum berlaku pada rekabentuk bancuhan 1:3:5.6:1.4 iaitu 13.3 MPa. Rekabentuk bancuhan ini menggunakan 20 % abu dasar arang batu (CBA) sebagai pengganti pasir. Manakala kekuatan mampatan minimum unit bata UCCB berlaku pada rekabentuk bancuhan 1:3:0:7 iaitu 6.9 MPa. Nisbah bancuhan ini menggunakan abu dasar arang batu 100% sebagai pengganti pasir.

Kekuatan mampatan unit bata UCCB berumur 28 hari adalah antara 7.6 MPa sehingga 17.0 MPa. Kekuatan mampatan maksimum berlaku pada penggunaan 20 % abu dasar arang batu manakala kekuatan mampatan minimum adalah pada penggunaan 100 % abu dasar arang batu sebagai pengganti pasir.

**Jadual 3** Data purata kekuatan mampatan unit bata UCCB berumur 7 dan 28 hari berdasarkan rekabentuk bancuhan

| Rekabentuk bancuhan   | Purata kekuatan mampatan maksimum (MPa) |         |
|-----------------------|-----------------------------------------|---------|
|                       | 7 hari                                  | 28 hari |
| 1:3:7:0 (0% CBA)      | 10.7                                    | 15.4    |
| 1:3:5.6:1.4 (20% CBA) | 13.3                                    | 17.0    |
| 1:3:4.2:2.8 (40% CBA) | 12.2                                    | 13.0    |
| 1:3:2.8:4.2 (60% CBA) | 9.0                                     | 11.4    |
| 1:2:1.4:5.6 (80% CBA) | 7.5                                     | 8.3     |
| 1:3:0:7 (100% CBA)    | 6.9                                     | 7.6     |

Kekuatan mampatan unit bata pada hari ke 28 diantara 7.6 MPa hingga 15.4 MPa manakala purata kekuatan kiub mortar adalah 4.27 MPa. Didapati kekuatan mortar lebih rendah daripada kekuatan unit bata untuk rekabentuk bancuhan 0% CBA hingga 100% CBA. Keadaan ini diperlukan dalam kerja binaan dinding bata. Menurut Somayaji (2001) kekuatan mortar yang rendah memberi prestasi yang terbaik kepada dinding. Terdapat dua fungsi mortar iaitu mengikat unit bata dan membentuk sifat kusyen untuk mengagihkan tekanan secara sekata pada permukaan bata. Jika kekuatan mortar lebih tinggi berbanding unit bata, ia akan mempengaruhi keboleherjaan dinding bata. Menurut Ismail et al. (2009) kekuatan mortar yang tinggi tidak memberi kesan yang besar terhadap kekuatan dinding. Kekuatan mortar yang tinggi akan mengakibatkan pengecutan yang ketara. Selain itu, ia turut mengakibatkan kadar pengembangan yang tinggi. Keadaan ini menyebabkan ikatan bata menjadi lemah.

#### Analisa Kekuatan Mampatan Dinding Bata UCCB

Jadual 4 menunjukkan kekuatan mampatan dinding bata lima lapis berdasarkan rekabentuk bancuhan dan ketebalan mortar berumur 7 hari. Kekuatan mampatan untuk bata dengan ikatan mortar 4 mm dan 8 mm adalah antara 2.26 hingga 4.80MPa dan 6.03 hingga 1.98 MPa. Manakala kekuatan mampatan dinding bata yang dibina dengan ketebalan ikatan mortar 12 mm adalah antara 3.56 hingga 4.87 MPa. Didapati kekuatan mampatan tertinggi dinding bata terjadi pada nisbah bancuhan 1:3:5.6:1.4. Bagi nisbah bancuhan ini sebanyak 20% abu dasar arang batu digunakan untuk menggantikan pasir semasa penyediaan sampel bata. Kekuatan mampatan dinding bata untuk ketebalan mortar 4 mm, 8 mm dan 12 mm adalah 4.80MPa, 6.03MPa dan 4.87MPa. Peratus peningkatan kekuatan antara 12.65 hingga 49.46 % daripada dinding bata kawalan.

Manakala kekuatan mampatan terendah pula berlaku pada nisbah bancuhan 1:3:0:7. Pada nisbah bancuhan ini 100 % abu dasar arang batu digunakan untuk menggantikan pasir. Kekuatan mampatan untuk ketebalan mortar 4 mm, 8 mm dan 12 mm untuk bancuhan ini adalah 2.26 MPa, 1.98 MPa dan 2.65 MPa. Peratus pengurangan berbanding dinding bata kawalan adalah antara 35.68 % hingga 50.8 5%

**Jadual 4** Data kekuatan mampatan dinding bata lima lapis berdasarkan nisbah bancuhan dan ketebalan ikatan mortar pada hari ke 7

| Nisbah bancuhan       | Kekuatan mampatan dinding bata lima lapis (MPa) |      |       |
|-----------------------|-------------------------------------------------|------|-------|
|                       | Ketebalan ikatan mortar                         |      |       |
|                       | 4 mm                                            | 8 mm | 12 mm |
| 1:3:7:0 (0% CBA)      | 3.51                                            | 4.04 | 4.32  |
| 1:3:5.6:1.4 (20% CBA) | 4.80                                            | 6.03 | 4.87  |
| 1:3:4.2:2.8 (40% CBA) | 3.11                                            | 3.80 | 3.92  |
| 1:3:2.8:4.2 (60% CBA) | 2.48                                            | 2.99 | 3.84  |

|                       |      |      |      |
|-----------------------|------|------|------|
| 1:2:1.4:5.6 (80% CBA) | 2.33 | 2.79 | 3.56 |
| 1:3:0:7 (100% CBA)    | 2.26 | 1.98 | 2.65 |

Melalui analisis yang dijalankan didapati unit bata UCCB yang dihasilkan daripada abu dasar arang batu mempengaruhi kekuatan mampatan dinding bata. Pertambahan ikatan mortar 4 mm, 8mm dan 12 mm menunjukkan peningkatan dan penurunan kekuatan mampatan yang konsisten. Kekuatan tertinggi dinding bata UCCB pada 20% penggunaan abu dasar arang batu bagi ketebalan ikatan mortar 4mm, 8mm dan 12mm. Pertambahan abu dasar arang batu kepada 60%, 80% dan 100% menyebabkan kekuatan mampatan ketiga-tiga ketebalan dinding bata tersebut berkurangan. Menurut Jahangir, Makhtar & Sambasivam (2004) apabila ketebalan ikatan mortar bertambah kekuatan mampatan binaan dinding bata tersebut akan berkurangan. Daripada data yang diperolehi didapati kekuatan mampatan bagi ketebalan mortar 8 mm lebih tinggi berbanding ikatan mortar berketebalan 4 mm. Perkara ini terjadi disebabkan oleh beberapa faktor. Menurut Hendry (1981), faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan dinding bata adalah kekuatan unit bata, geometri unit, kekuatan mortar (rekabentuk bancuhan mortar), ketebalan ikatan bata, kadar penyerapan air dan mutu kerja.

**Jadual 5** Data kekuatan mampatan dinding bata lima lapis berdasarkan nisbah bancuhan dan ketebalan ikatan mortar pada hari ke 28

| Nisbah bancuhan       | Kekuatan mampatan dinding bata lima lapis (MPa) |      |       |
|-----------------------|-------------------------------------------------|------|-------|
|                       | Ketebalan ikatan mortar                         |      |       |
|                       | 4 mm                                            | 8 mm | 12 mm |
| 1:3:7:0 (0% CBA)      | 4.58                                            | 5.75 | 5.01  |
| 1:3:5.6:1.4 (20% CBA) | 7.48                                            | 6.00 | 5.25  |
| 1:3:4.2:2.8 (40% CBA) | 4.92                                            | 5.21 | 4.79  |
| 1:3:2.8:4.2 (60% CBA) | 4.27                                            | 4.62 | 4.28  |
| 1:2:1.4:5.6 (80% CBA) | 4.03                                            | 4.51 | 3.05  |
| 1:3:0:7 (100% CBA)    | 3.48                                            | 3.40 | 3.05  |

Jadual 5-pula menunjukkan kekuatan mampatan dinding bata lima lapis untuk nisbah bancuhan dan ketebalan mortar yang berumur 28 hari. Kekuatan mampatan bagi dinding untuk ketebalan ikatan mortar 4 mm dan 8 mm adalah antara 3.48 hingga 7.48 MPa dan 3.40 hingga 6.00 MPa. Manakala kekuatan mampatan dinding bata yang dihasilkan dengan ketebalan ikatan mortar 12 mm adalah antara 3.05 hingga 5.25 MPa. Kekuatan mampatan maksimum dinding bata berumur 28 hari adalah pada nisbah bancuhan 1:3:5.6:1.4. Nisbah bancuhan ini mengandungi 20% abu dasar arang batu. Kekuatan mampatan dinding bata untuk ketebalan mortar 4mm, 8mm dan 12mm adalah 7.48 MPa, 6.00 MPa dan 5.25 MPa. Peratus pertambahan kekuatan mampatan berbanding dinding bata kawalan antara 4.24 hingga 63.46%.

Kekuatan mampatan dinding bata terendah pula pada nisbah bancuhan 1:3:0:7. Nisbah bancuhan ini menggunakan 100% abu dasar arang batu sebagai ganti pasir. Kekuatan mampatan dinding bata untuk ketebalan 4mm, 8mm dan 12mm adalah 3.84 MPa, 3.40 MPa dan 3.05 MPa. Peratus penurunan kekuatan terhadap dinding bata kawalan adalah antara 23.91% hingga 40.85%. Pertambahan ketebalan ikatan mortar pada dinding bata dari 4 mm kepada 12 mm mengakibatkan kekuatan mampatan dinding bata berkurangan antara 12% hingga 30 %. Dapatan ini disokong oleh Hendry (1981) yang telah menjalankan kajian terhadap ketebalan mortar yang berbeza-beza, dimana beliau mendapati kekuatan struktur dinding bata berkurangan sebanyak 30% bagi ketebalan mortar dari 16 hingga 19 mm. Chai & Neis (1980) juga telah menjalankan kajian terhadap kekuatan mampatan binaan blok konkrit yang diikat dengan ketebalan mortar berbeza-beza. Melalui kajian tersebut beliau mendapati kekuatan lenturan berkurangan sehingga 73% dengan pertambahan ketebalan mortar dari 9 mm hingga 18 mm. Hubungan antara kekuatan mampatan dan peratus penggunaan abu dasar arang batu

pula menunjukkan dengan pertambahan abu dasar arang batu sebagai ganti pasir sebanyak 20% memberi kekuatan mampatan maksimum. Tetapi pertambahan kepada 40%, 60%, 80% dan 100% abu dasar arang batu sebagai ganti pasir mengakibatkan kekuatan dinding bata UCCB menurun.

## KESIMPULAN

Berdasarkan penyelidikan kekuatan mampatan dan modulus keanjalan ke atas unit bata dan binaan dinding bata UCCB, kesimpulan yang dibuat adalah seperti berikut;

- i. Tanah liat yang digunakan dalam bancuhan bagi penghasilan bata UCCB mempunyai tahap had cecair dan had plastik masing-masing 59% dan 35.8%. Manakala indeks keplastikan yang diperolehi adalah 23.2%. Melalui ujian pemadatan pula, didapati ketumpatan kering maksimum dan kandungan air optimum adalah 1940 kg/m<sup>3</sup> dan 20.5%. Tanah liat yang diperolehi ini sesuai digunakan dalam penghasilan bata tanah liat termampat tamper bakar (UCCB)
- ii. Mortar dengan rekabentuk (1:6) yang dihasilkan untuk tujuan mengikat unit-unit bata didapati mempunyai kekuatan mampatan dan nilai modulus keanjalan yang berbeza-beza walaupun daripada perkadaran campuran yang sama. Didapati kekuatan mortar terbabit dipengaruhi oleh nisbah air simen. Walaubagaimanapun diperolehi kekuatan kub mortar pada hari ke 28 telah mencapai kekuatan minimum iaitu 4 MPa menurut BS 5624 Part 3 (2001).
- iii. Ujian kekuatan mampatan ke atas unit bata UCCB yang dihasilkan daripada abu dasar arang batu CBA didapati penggunaan 20% CBA sebagai ganti pasir mencapai kekuatan maksimum berbanding bata UCCB kawalan (0% CBA) untuk hari ke 7 dan 28. Peratus pertambahan kekuatan bata UCCB dengan 20% penggunaan CBA adalah sebanyak 24.3% dan 10.4% pada hari ke 7 dan hari ke 28. Pertambahan kekuatan ini disebabkan sifat saling mengunci di antara zarah pasir dan CBA lebih baik.
- iv. Menurut BS3921:1965 purata kekuatan mampatan untuk penghasilan unit bata bertekanan 3000 psi adalah 20.5 MPa. Kekuatan mampatan maksimum pada hari ke 28 yang diperolehi dalam kajian ini adalah 17.0 MPa. Didapati kekuatan mampatan daripada ujikaji lebih rendah daripada piawaian tersebut. Keadaan ini disebabkan oleh beberapa faktor antaranya adalah sifat-sifat fizikal bahan mentah dan mutu kerja.
- v. Bagi analisis kekuatan mampatan dinding bata UCCB pula mendapati kekuatan mampatan tertinggi dinding bata terjadi pada nisbah bancuhan 1:3:5.6:1.4 iaitu penggunaan 20% penggunaan abu dasar arang batu dalam unit bata. Didapati dalam kajian ini peningkatan kekuatan unit bata menyebabkan kekuatan dinding bata turut meningkat.
- vi. Kekuatan mampatan maksimum dinding bata tanah liat tanpa bakar yang berumur 28 hari berlaku pada dinding dengan ketebalan mortar 4 mm iaitu 7.48MPa, diikuti dinding bata dengan ketebalan mortar 8 mm dan 12 mm dengan nilai kekuatan mampatan 5.75 MPa dan 5.25 MPa. Didapati dengan pertambahan ketebalan mortar, kekuatan dinding bata akan berkurangan terutama daripada ketebalan 8 mm ke 12 mm.
- vii. Hubungan antara kekuatan mampatan dan kadar pertambahan abu dasar arang batu terhadap dinding bata UCCB didapati dengan pertambahan abu dasar arang batu dari 40% kepada 100% mengakibatkan kekuatan dinding bata berkurangan. Peratus pengurangan kekuatan mampatan tersebut berbanding dinding bata kawalan antara 23.9% hingga 40.8%. Walaubagaimanapun, kekuatan bata yang dihasilkan dengan 100% CBA masih boleh digunakan dalam pembinaan dinding tanpa tanggungan beban.

## RUJUKAN

- Ali, Z.A. Properties of Malaysian Fired Clay Bricks and their Evaluation with International Masonry Specification – A case study. Universiti Teknologi Malaysia: Thesis Master's. (2005)
- Demirbas A. Electricity from Coal and Utilization of Coal Combustion By-products. Taylor & Francis Group. Energy Sources, Part A, 30:1581-1585 (2008)
- DeVekey, R. C. Brickwork and Blockwork. Construction Materials; Their Nature and Behaviour. Third Edition, Spone Press, New York. (2008)
- Gumaste, K.S. et al. Strength and Elasticity of brick masinry prisms and wallettes under compression. Material and Structure Journal, 40 (2), 241-253 (2007)
- Hendry, A.W. Masonry walls: materials and construction. Construction and Building Material. 15, 323-330. Elsevier. (2001)
- Hendry, A. W. Structural brickwork. United Kingdom: The Macmillian Press. (1981)
- Jahangir, B., Makhtar, A.M., Sambasivam, S. Investigation of Failure Modes in Unreinforced Brick Masonry Walls Subjected to Different Load Combination. Asia-Pacific Structural Engineering and Construction Conferent (APSEC 2003). 26 – 28 August 2003. Johor Bahru, Malaysia. ms 305-317. (2004)
- Somayaji, S. Civil Engineering Material. 2nd Ed. New Jersey. Prentice Hall. (2001)
- Muhardi et al. Engineering Characteristics of Tanjung Bin Coal Ash. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, Bund.K (15), ms1117-1129. (2010)
- Ismail, K.N. Penghasilan Agregat Ringan dari Abu Bahan Api Terhancur Sebagai Sumber Utama. Universiti Sains Malaysia: Tesis Ph. D