

AGREGAT RINGAN SEBAGAI BAHAN BINAAN

Khairul Nizar Ismail dan Kamarudin Hussin

Pusat Pengajian Kejuruteraan Alam Sekitar dan Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan
Universiti Malaysia Perlis (UniMAP),
P.O. Box 77, 01007 Kangar,
Perlis
email : nizar@unimap.edu.my

PENGENALAN

Penggunaan agregat ringan sebagai bahan binaan di negara ini masih belum difunakan secara meluas. Walau bagaimana pun peningkatan penggunaan konkrit ringan didalam industri pembinaan memangkin kepada pengunaan agregat ringan. Konkrit adalah merupakan bahan binaan yang paling utama di dalam industri pembinaan. Konkrit terbentuk hasil daripada campuran air, simen, agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar adalah merupakan batu baur yang bersaiz diantara 5-20 mm menurut Spesifikasi Piawai Untuk Kerja-Kerja Bangunan, JKR (1989). Biasanya di dalam industri pembinaan di Malaysia, agregat kasar yang digunakan adalah dari batu granit yang dibekalkan oleh kuari-kuari tempatan. Manakala agregat halus pula adalah merupakan agregat yang saiznya kurang dari 5 mm. Agregat halus yang biasanya digunakan adalah pasir sungai.

Penghasilan konkrit secara konvensional telah lama digunakan di Malaysia. Penggunaan konkrit ringan sebagai bahan binaan mempunyai kelebihan yang tersendiri dari segi kos, rekabentuk dan pengendalian. Penghasilan konkrit ringan boleh dibuat dengan 3 cara yang utama iaitu (Andrew & William, 1978):

- Konkrit tanpa agregat halus (*no fine concrete*)
- Konkrit yang diudarkan (*aerated concrete*)
- Konkrit agregat ringan (*lightweight aggregate concrete*)

Penghasilan konkrit ringan dengan menggunakan kaedah pengudaraan telah digunakan secara meluas. Ianya digunakan sebagai dinding untuk rumah, bangunan, kilang dan sebagainya. Dinding yang diperbuat dari konkrit ringan yang diudarkan ini mempunyai kelebihan berbanding dari dinding yang diperbuat dari bata merah atau bata simen. Ianya lebih ringan, mudah dikendalikan dan boleh digergaji untuk mendapatkan bentuk-bentuk yang sesuai. Selain dari itu sifat penambat yang membolehkannya ia bertindak sebagai dinding kalis haba sekiranya berlaku kebakaran.

Sejarah penggunaan agregat ringan telah bermula pada zaman pre-Roman lagi dimana penggunaan batuan porous hasil dari letupan gunung berapi digunakan sebagai bahan binaan. Namun begitu penggunaannya adalah terhad kerana bergantung kepada aktiviti gunung berapi. Pada awal abad ke 20, penyelidikan penghasilan agregat ringan dari jermang relau bagas telah dimulakan di Eropah. Agregat ringan yang diproses mula digunakan secara komersial pada 1935 ianya dihasilkan dari jermang relau bagas (blastfurnace slag) di United Kingdom. Ini telah mendorong kepada penghasilan piawaian 'British Standard' (BS 877) pada tahun 1939 sebagai panduan kepada penggunaan agregat ringan

Di Amerika Syarikat, kajian mengenai agregat ringan telah bermula pada tahun 1913 selepas penemuan lempung tanah liat yang mengembang selepas dipanaskan. Penemuan ini telah mendorong kepada penghasilan agregat jenis 'Hydate' pada 1917 di Kansas City, Missouri. Agregat jenis ini telah digunakan untuk pembinaan kapal tentera laut USS Selma pada tahun 1919 (Concrete Society Technical Report, 1978). Seiring dengan pembangunan di alaf baru, bahan-bahan binaan yang baru perlu diperkenalkan di dalam industri pembinaan di Malaysia. Pergantungan terhadap batu baur atau granit untuk penghasilan konkrit perlu dikurangkan atas faktor alam sekitar. Kesedaran mengenai pentingnya pemeliharaan alam semulajadi menyebabkan kerja-kerja pengkuarian perlu dikurangkan atas sebab hakisan dan juga pencemaran udara.



Konkrit ringan yang dihasilkan dengan menggunakan agregat ringan boleh digunakan untuk tujuan struktur seperti tiang, rasuk, asas dan sebagainya. Dengan kata lain penggunaan konkrit ringan untuk struktur bangunan dapat mengurangkan beban mati (dead load) bangunan dan seterusnya dapat menjimatkan kos pembinaan keseluruhan bangunan. Ini dapat dilakukan pada peringkat rekabentuk oleh jurutera awam dimana saiz struktur dapat dikurangkan dengan pengurangan beban bangunan. Penggunaan agregat ringan untuk penghasilan konkrit ringan untuk kegunaan struktur masih kurang dipraktikkan di Malaysia. Ini mungkin disebabkan oleh faktor muka bumi Malaysia dimana bekalan batu baur atau granit masih mudah diperolehi. Pengantungan terhadap sumber batu granit perlu dikurangkan dimasa hadapan kerana kerja-kerja penkuarian yang keterlaluan sedikit sebanyak akan menjejaskan alam sekitar dan lambat laun sumber batu granit akan di Malaysia akan berkurangan. Oleh itu satu alternatif lain untuk menggantikan batu baur adalah dengan menggunakan agregat ringan. Timbalan Ketua Pengarah 1, Jabatan Kerja Raya Malaysia dalam ucapamannya di Persidangan Awam 1999 di Lumut, Perak menyarankan supaya bahan-bahan binaan baru perlu dikenal pasti untuk kegunaan pembinaan. Beliau turut menjangkakan, penggunaan batu baur sebagai bahan binaan mungkin digantikan dengan bahan-bahan binaan yang lain di alaf baru ini.

Penggunaan agregat ringan untuk penghasilan konkrit ringan kegunaan struktur telah digunakan secara meluas di Eropah dan juga Amerika Syarikat sejak beberapa abad yang lalu. Malahan terdapat banyak syarikat yang telah mengeluarkan agregat ringan secara komersial seperti Lytag, Adlite, Leca dan sebagainya lagi. Bahan-bahan mentah yang telah digunakan untuk menghasilkan agregat ringan ini juga berbeza-beza, antaranya adalah abu bahan api terhancur (pulverised fuel ash), tanah liat teleepung (expanded clay), coral, lava gunung berapi dan sebagainya lagi. Sumber-sumber bahan mentah yang digunakan adalah dari bahan buangan industri atau bahan yang mudah diperolehi.

PENGHASILAN AGREGAT RINGAN

Prinsip utama penghasilan agregat ringan adalah bergantung kepada proses pengembangan (expansion) dan gumpalan (agglomeration). Semasa proses pengembangan komposisi bahan-bahan mentah akan melalui proses pensinteran hingga ke tahap suhu lakur (fusion) dimana sifat pioplastik bahan tersebut terhasil bersama-sama dengan penghasilan gas. Manakala proses gumpalan terhasil apabila bahan mentah terlakur dan partikel-partikel akan terikat bersama-sama (FIP Manual, LWA, 1983). Proses pengembangan yang sempurna boleh dihasilkan dengan menggunakan bahan mentah yang memenuhi keperluan berikut:

- Bahan mentah mengandungi kompenen yang sesuai untuk menghasilkan gas.
- Sifat pioplastik mestilah terhasil pada masa yang sama dengan pembentukan gas.

Secara asasnya, dalam penghasilan agregat ringan akan melibatkan pengembangan bahan mentah melalui proses pemanasan atau pensinteran. Gas yang terhasil akan menyebabkan pengembangan dan juga menghasilkan liang-liang (porosity) di dalam agregat (FIP Manual, LWA, 1983). Terdapat beberapa cara untuk menghasilkan pembentukan gas, iaitu:

- Penguraian dan pembakaran sebatian sulfat dan karbon dari suhu 400 o c ke atas.
- Penghidratan air dari mineral tanah liat pada suhu 600 o c.
- Penghasilan gas karbon dioksida (CO₂) dari karbonat pada suhu 900 o c.
- Pemanasan ferum oksida (Fe₂O₃) pada suhu 400 o c akan menyebabkan pembebasan gas oksigen.

AGREGAT RINGAN DALAM REKABENTUK KONKRIT

Dalam rekabentuk konkrit ringan berkekuatan tinggi ini, tumpuan dalam menghasilkan konkrit ringan adalah rekabentuk konkrit dari segi penggunaan jenis agregat bagi memastikan konkrit yang dihasilkan merupakan sejenis konkrit yang ringan mempunyai kekuatan yang tinggi. Takrifan agregat ringan antaranya adalah sejenis 'agregat yang mempunyai nilai ketumpatan tidak melebihi 1200 kg/m³ untuk agregat yang bersaiz halus manakala bagi agregat yang bersaiz kasar pula ia mempunyai ketumpatan 1000 kg/m³ apabila agregat ringan di dalam keadaan kering tepu di isi ke dalam satu bekas tanpa hentakan pepadatan atau secara mengejut'. (BS : 3797, 1990). Terdapat pelbagai jenis agregat ringan yang digunakan di dalam rekabentuk konkrit ringan pada masa kini antaranya adalah *expanded clay, shale, slate, diatomaceous shale, perlite, obsidian, dan*

vermicullite. Kesemua jenis agregat yang dinamakan ini mempunyai sifat-sifat tersendiri diantara satu sama lain. Dalam penggunaan agregat ringan di dalam bancuhan konkrit, kebanyakannya boleh dirujuk di dalam British Standard. Namun begitu dalam keadaan pesat dalam penghasilan agregat ringan adalah sesuai segala bentuk bancuhan konkrit berdasarkan jenis agregat ringan yang digunakan dirujuk kepada pengeluar agregat ringan tersebut kerana penghasilan agregat yang dihasilkan mempunyai data-data yang dapat memberikan kekuatan konkrit yang diinginkan dalam penggunaannya.

Perbezaan fizikal yang dapat dibandingkan diantara satu agregat ringan dengan agregat yang lain adalah seperti keadaan permukaan agregat yang rata, berbentuk bulat, licin dan berongga. Begitu juga keadaan agregat ringan tertentu yang lain pula berkemungkinan mempunyai keadaan permukaan yang kasar, bersudut-sudut, dan tidak berongga. Begitu juga dari segi kekerasan sesuatu agregat ianya mungkin berkeadaan keras ataupun keadaan yang lembut. Keadaan kimia bagi sesuatu jenis agregat ringan juga berbeza antara satu sama lain. Sebahagian agregat mempunyai sifat yang kaku manakala sebahagian lain pula berpotensi untuk mengaratkan besi.

Oleh kerana faktor yang dijelaskan di atas adalah penting ketika merekabentuk sesuatu struktur, adalah perlu untuk para jurutera rekabentuk dan juga kontraktor untuk mengenalpasti sifat-sifat agregat ringan seperti pengelasan agregat, kaedah penghasilan agregat serta ciri-ciri fizikal agregat yang bakal digunakan di dalam sesuatu projek agar maklumat sifat-sifat agregat ini dapat digunakan untuk rekabentuk konkrit yang mampu dimanfaatkan secara maksima dan mengurangkan pembaziran sumber seperti penggunaan simen serta agregat berlebihan.

PENKELASAN AGREGAT RINGAN

Berikut adalah pengelasan agregat ringan, berdasarkan kepada 5 pecahan yang dikelaskan di Britain, iaitu bahan semulajadi, pemprosesan bahan semulajadi, hasil sampingan yang diproses, hasil sampingan yang tak diproses dan bahan organik.

Bahan semulajadi		Hasil sampingan yang diproses	Bahan organik
a)	Coral	i) Expanded blast furnace slag	i) Partikel plastik
b)	Tufa	ii) Expanded pulverized-fuel ash	ii) Partikel kayu
c)	Pumice	iii) Foamed blast furnace slag	ii) Fibrik kayu
d)	Volcanic ejecta	iv) Granulated blast furnace slag	
e)	Scoria	v) Sintered colliery waste	
f)	Tuff		
g)	Crushed sea shells		
h)	Diatomite		
i)	Lava		

CIRI-CIRI AGREGAT RINGAN

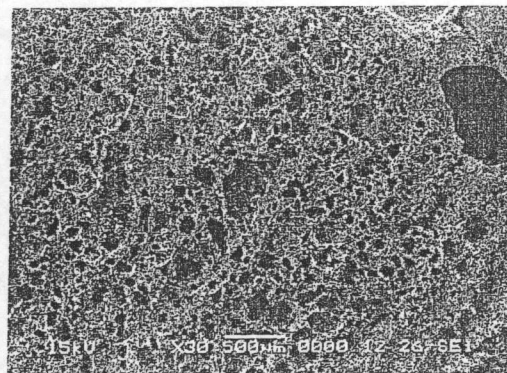
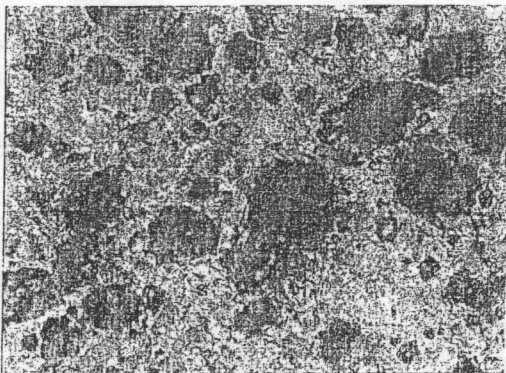
Secara amnya agregat ringan mempunyai beberapa ciri yang berbeza dengan agregat biasa. Terdapat 6 ciri yang diperhatikan semasa menjalankan projek ini, iaitu penyerapan air, ketumpatan pukal, pengkelasan (grading), kekuatan, kandungan sulfat dan kurang mencetus api (BS 3797, 1990).

Ciri-ciri agregat ringan di atas penting di dalam rekabentuk struktur sesebuah binaan kerana setiap ciri-ciri di atas memberi kesan keatas sifat struktur serta kekuatan struktur. Misalnya bagi ketumpatan pukal yang rendah, keadaan sudah pasti memberi kesan positif di dalam mengurangkan beban mati keatas struktur dengan penggunaan agregat ringan, sekaligus dapat dilakukan satu rekabentuk struktur yang ekonomi dari segi saiz dan bahan yang perlu digunakan manakala bagi agregat yang kurang mencetus api, ia amat bersesuaian sebagai langkah penghindaran dari berlakunya kebakaran, iaitu pem, binaan struktur mempunyai daya lawan api secara pasif, keadaan ini sudah tentu menghasilkan satu bangunan yang selamat.

BENTUK, SAIZ DAN KEADAAN PERMUKAAN AGREGAT

Saiz agregat, bentuk dan keadaan permukaan agregat mempunyai pengaruh terhadap ciri konkrit basah. Apabila menggunakan agregat berbentuk bulat (spiral) serta mempunyai permukaan yang licin, kandungan mortar yang diperlukan adalah rendah berbanding dengan agregat yang bersudut (angular). Penggunaan agregat bersudut ataupun agregat yang dihancurkan akan menyebabkan terdapat lompong atau lubang terbuka yang terlindung semasa konkrit dimampatkan. Oleh yang demikian kandungan mortar yang tinggi diperlukan kerana mortar tersebut akan memenuhi lompong-lompong terbuka pada agregat tersebut. Penggunaan mortar yang banyak akan meningkatkan ketumpatan konkrit kerana ketumpatan mortar adalah yang mengandungi simen, pasir dan air adalah lebih tinggi berbanding dengan agregat ringan. Oleh yang demikian bentuk yang bersudut tidak sesuai untuk digunakan konkrit ringan kegunaan struktur berbanding dengan bentuk bulat. Walaubagaimana dari segi kekuatan mampatan, agregat yang bersudut adalah lebih tinggi berbanding daripada bentuk bulat.

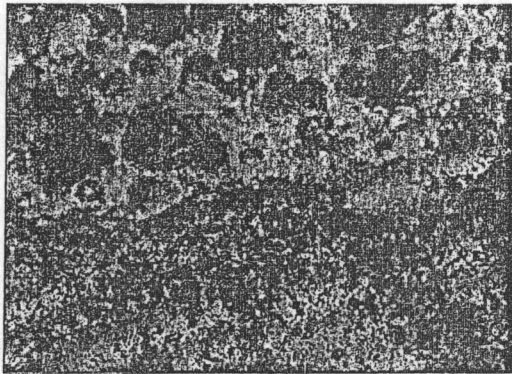
Lompong-lompong yang terdapat di dalam agregat ringan seperti dalam Rajah 1 adalah merupakan penyumbang kepada penghasilan agregat yang ringan berbanding dengan agregat biasa



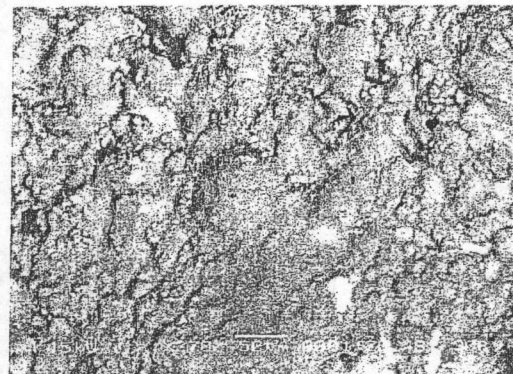
Rajah 1: Agregat ringan kajian menunjukkan keliangan. (mikroskop optik 100x & Mikroskop Imbasan Elektron)

Permukaan agregat ringan yang kasar membantu ikatan diantara permukaan agregat dan simen semasa penghasilan konkrit agregat ringan. Rajah 2 menunjukkan permukaan agregat ringan yang dihasilkan dari abu bahan api terhancur pada suhu yang tinggi. Turut ditunjukkan adalah keratan ikatan 'saling kunci' (interlocking) diantara simen dan permukaan agregat ringan

Keratan konkrit agregat ringan



Permukaan agregat ringan



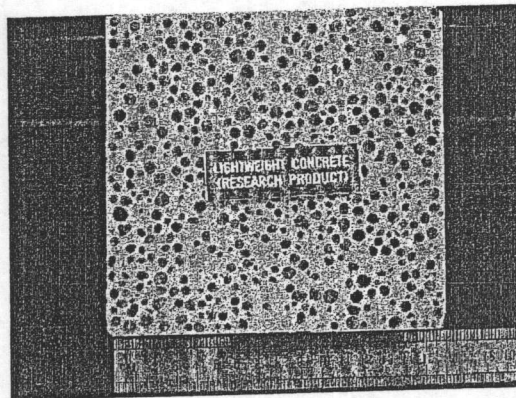
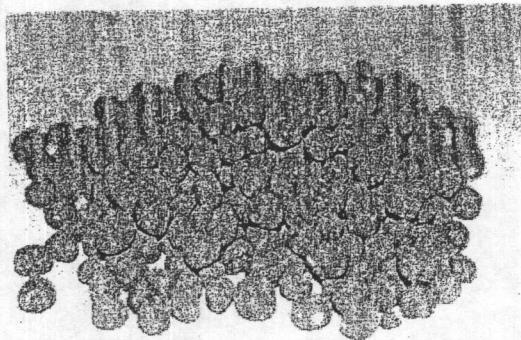
Rajah 2: Permukaan agregat ringan kajian UniMAP (mikroskop optik 100x)

AGREGAT RINGAN DI MALAYSIA

Peningkatan penggunaan arang batu untuk penjanaan elektrik telah mendorong kepada penyelidikan dijalankan keatas abu bahan api terhancur (pulverized fuel ash) sebagai agregat ringan. Abu bahan api terhancur adalah terhasil dari pembakaran arang batu bitumin di logi janakuasa elektrik. Penggunaan semula sisa-sisa buangan industri untuk kegunaan industri lain adalah penting terutamanya di negara membangun seperti Malaysia. Abu bahan api terhancur adalah salah satu sisa buangan yang terhasil dari pembakaran arang batu yang boleh menyebabkan pencemaran air dan udara. Sungguh pun di Malaysia bekalan elektrik dijanakan oleh janakuasa hidro, tetapi janakuasa elektrik yang menggunakan arang batu masih terus digunakan. Menurut sumber Tenaga Nasional Berhad, kira-kira 9800 Megawatt telah dibekalkan ke grid kebangsaan untuk pengguna di Semenanjung Malaysia. Dari jumlah tersebut kira-kira 2200 Megawatt dihasilkan oleh Stesen Janakuasa Elektrik Sultan Abdul Aziz Shah di Kapar Selangor dengan menggunakan arang batu. Sebanyak 100 tan arang batu diperlukan setiap jam untuk menjanakan bekalan elektrik dan 15% hingga 20% dari jumlah ini akan membentuk abu bahan api terhancur selepas pembakaran.

Tenaga Nasional Berhad menerusi anak syarikatnya iaitu TNB Janamanjung Sdn.Bhd sedang dalam pembinaan sebuah lagi janakuasa elektrik yang menggunakan arang batu di Lekir Lumut, Perak yang berupaya menghasilkan 2100 Megawatt elektrik. Janakuasa elektrik tersebut siap pada tahun 2003. Oleh yang demikian satu usaha menggunakan sisa industri ini perlu dilakukan supaya ianya dapat dimanfaatkan oleh industri binaan.

Di Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan, Universiti Malaysia Perlis (UniMAP), usaha sedang dijalankan untuk menghasilkan agregat ringan dengan menggunakan abu bahan api terhancur ini (rajah 3). Bahan-bahan mentah lain seperti tanah liat, debu kuari dan juga sekam padi turut digunakan dalam campuran tersebut. Bahan-bahan mentah yang telah di campur akan melalui proses pengumpulan mengikut saiz yang dikehendaki. Proses terpenting adalah proses pengerasan agregat dimana teknik persinteran digunakan. Suhu persinteran yang tinggi digunakan untuk kajian ini iaitu diantara 10000C hingga 12000C dengan menggunakan relau pemanas. Hasil yang diperolehi dikaji kekuatannya dengan konkrit dan beberapa ujian lain yang telah dikenal pasti.



Rajah 3: Agregat ringan dan konkrit agregat ringan yang telah dihasilkan di UniMAP

Penggunaan agregat ringan dapat mengurangkan ketumpatan konkrit dan pada masa yang sama boleh digunakan untuk menghasilkan konkrit ringan. Ianya tidak terbatas untuk kegunaan dinding kalis haba, malahan boleh digunakan untuk kegunaan struktur seperti tiang, rasuk, asas dan sebagainya lagi sekiranya kekuatan mampatan konkrit menepati piawaian yang ditetapkan. Agregat ringan yang dihasilkan dari abu bahan api terhancur adalah mempunyai ketumpatan yang rendah, kuat dan dapat mengurangkan beban mati dan kos pengangkutan bahan binaan. Dengan kata lain, ianya boleh digunakan untuk menggantikan batu baur (granit) dalam penghasilan konkrit kegunaan struktur. Ianya juga boleh digunakan untuk tujuan penebat haba, dan bunyi, gelanggang sukan, dan juga di litar perlumbaan.

RUJUKAN

1. Andrew, S & William, K, (1978), *Lightweight Concrete*, Applied Science Publishers Ltd, London.
2. British Standard Institution, (1973), *BS 877 : Part 2: Specification for foamed or expanded blastfurnace slag lightweight aggregate for concrete*, BSI Publication, London
3. British Standard Institution, (1990), *BS 3797 : Specification for lightweight aggregates for masonry units and structural concrete*, BSI Publication, London
4. FIP-Manual(1983) '*FIP Manual of Lightweight Aggregate Concrete*', Federation Internationale de la Precontrante ,Surrey University Press, Glasgow and London.