

## Penggunaan Abu Bakaran Klinikal di dalam Konkrit Prestasi Tinggi

Mardalena, Muhammad Fauzi Mohd. Zain dan Hassan Basri

### ABSTRAK

*Penggunaan bahan buangan seperti bahan buangan pepejal perbandaran, industri dan hospital ke dalam bentuk lain yang boleh diguna adalah suatu pilihan yang tepat, kerana ia dapat mengurangkan keperluan untuk tapak penimbusan tanah. Untuk mengecilkan isipadu bahan buangan ini, cara yang paling berkesan adalah dengan pembakaran. Ia boleh menurunkan isipadu hingga 90% dan menghasilkan dua jenis abu, iaitu abu dasar dan abu terbang. Kajian yang dilakukan menggunakan abu terbang yang terhasil daripada kenuru buangan klinikal Tongkah Medivest Sdn. Bhd. yang dipanggil abu bakaran klinikal. Ia digunakan sebagai pengganti sebahagian simen, iaitu 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan 35% untuk menghasilkan konkrit prestasi tinggi. Konkrit direkabentuk berdasarkan nisbah air-pengikat 0.35 dan 0.50. Pengawetan air dan udara dipraktik dalam kajian ini. Ujian kekuatan mampatan dilakukan pada umur 7, 14, 28, 56, 90 dan 180 hari. Hasilnya memperlihatkan bahawa kekuatan mampatan nisbah air-pengikat 0.35 lebih baik daripada 0.50 untuk kedua-dua pengawetan. Perbandingan menurut peratus pertambahan abu bakaran klinikal memperlihatkan bahawa kekuatan mampatan menurun dengan meningkatnya kandungan abu bakaran klinikal. Konkrit dengan kandungan abu bakaran klinikal 5% menghasilkan kekuatan mampatan paling tinggi dibandingkan peratus abu bakaran klinikal lain. Dengan itu, sekiranya dilihat dari aspek kekuatan mampatan, abu bakaran klinikal boleh digunakan di dalam konkrit.*

**Katakunci:** buangan klinikal, abu terbang, konkrit prestasi tinggi, superpemplastikan.

### ABSTRACT

*The use of waste materials such as municipal solid waste, industrial waste, and hospital waste for beneficial purposes is an appropriate choice, because it will reduce the need for landfill space. To reduce the volume of materials waste, the most effective method is incineration. It can reduce the volume of waste up to 90% and will produce two by-products, namely bottom-ash and fly ash. This research uses fly ash from Tongkah Medivest Sdn. Bhd. clinical waste incinerator as clinical ash. It is used as cement replacement material at 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, and 35% for making high performance concrete. The concrete were designed at water-binder ratio of 0.35 and 0.50. Water curing and air curing were practised. Compressive strengths were determined at the age of 7, 14, 28, 56, 90, and 180 days. The result showed that the compressive strength of 0.35 water-binder ratio under both curing methods produced higher strength. The compressive strengths of concrete were decreased as the percentage of clinical ash increased. The concrete that contained 5% clinical ash showed the highest value of compressive*

*strength compared to others. Therefore, from the perspective of compressive strength, clinical ash can be used in concrete.*

*Keywords: clinical waste, fly ash, high performance concrete, superplasticisation.*

## PENGENALAN

Penggunaan abu bakaran klinikal sebagai pengganti sebahagian simen masih jarang dilakukan. Oleh itu, diharapkan ianya dapat membuka ruang baru yang lebih baik dalam penggunaan abu bakaran klinikal, misalnya sebagai pengganti sebahagian simen untuk menghasilkan konkrit prestasi tinggi (KPT), selain itu dapat juga mengurangkan salah satu jenis bahan buangan yang ada sekarang ini. Objektif daripada kajian ini adalah mengkaji kemungkinan menggunakan abu bakaran klinikal sebagai bahan tambah mineral dalam menghasilkan KPT sebagai pengganti sebahagian simen yang ditinjau dari kekuatan mampatannya.

## BAHAN DAN PENCAMPURAN

*Simen* Jenis simen Portland (jenis I ASTM) dengan graviti tentu 3.15, kandungan lembapan 0.34% dan peratus tertahan ayakan 53  $\mu\text{m}$  adalah 89%.

*Aggregat Kasar* Jenis batu hancur dengan saiz maksimum 25 mm, kandungan lembapan 0.23%, penyerapan 0.84% dan graviti tentu 2.62.

*Aggregat Halus* Jenis pasir lombong dengan saiz maksimum 4.75 mm, kandungan lembapan 0.24%, penyerapan 1.20% dan graviti tentu 2.70.

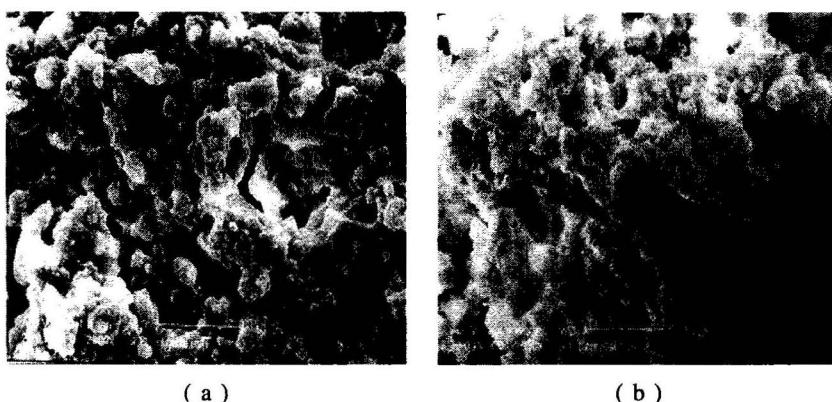
*Air* Air yang digunakan memenuhi syarat yang ditetapkan.

*Bahan Superpemplastikan* Jenis bahan tambah pengurang air julat tinggi yang bersesuaian dengan piawaian ASTM C-494-92 1993 bahan tambah jenis A atau F dan piawaian BS 5075: Bahagian 3 jenis superpemplastikan. Bahan tambah kimia ini mengandungi peluwat naftalina formaldehid bersulfat.

*Agen Seret Udara:* Agen seret udara memenuhi piawaian ASTM C 260-86 1993.

*Abu Bakaran Klinikal* Abu terbang yang terhasil daripada pembakaran buangan klinikal dengan graviti tentu 2.194, penyerapan 40.38% ukuran partikel  $< 2 \mu\text{m}$  dan kandungan lembapan 7.71%. Abu ini termasuk ke dalam klas C dengan kandungan kapur 19.02% ( $> 10\%$  ASTM C 618-93). Bentuk partikel abu bakaran klinikal sangat berliang (Rajah 1), dan sifat-sifat kimianya dalam Jadual 1.

Adunan KPT dibuat menurut nisbah air-pengikat 0.35 dan 0.50, berdasarkan kepada penggantian sebahagian simen dengan abu bakaran klinikal, iaitu 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan 35%. Perincian kadar campuran KPT berdasarkan kering udara untuk isipadu konkrit basah 1  $\text{m}^3$  dapat dilihat dalam Jadual 2. Di sini dapat dilihat bahawa keperluan air sampel CA-25 adalah sama untuk kedua-dua nisbah air-pengikat. Tetapi selanjutnya, keperluan air CA-30 dan CA-35 untuk nisbah air-pengikat 0.35 lebih besar daripada 0.50. Ini kerana kandungan abu bakaran klinikal yang tinggi menyebabkan penambahan air yang tinggi hasil daripada penyerapannya yang tinggi.



RAJAH 1. Spektrofotometer kemikroskopan elektron (SEM) partikel abu bakaran klinikal

JADUAL 1. Sifat kimia abu bakaran klinikal spektroskopi fotoelektron sinar-X (XPS)

Rencaman Oksida	Abu Bakaran Klinikal (%)
CaO	19.02
SiO <sub>2</sub>	14.58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.96
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.79
Na <sub>2</sub> O	16.11
MgO	14.48
Cl	12.06

Sampel yang dibuat adalah berbentuk silinder dengan garis pusat 100 mm dan tingginya 200 mm. Sampel diawetkan menurut dua kaedah, iaitu pengawetan berterusan dalam air dan terdedah berterusan dalam udara sekitaran. Untuk KPT dengan simen Portland sahaja, disebut NPC. KPT yang mengandungi 5% abu bakaran klinikal adalah CA-05, dan seterusnya. Ujian yang dilakukan adalah kekuatan mampatan untuk usia 7, 14, 28, 56, 90 dan 180 hari.

## HASIL DAN PERBINCANGAN

### KONKRIT BARU

Penambahan abu bakaran klinikal ke dalam konkrit mempercepat pengerasan adunan KPT. Semakin tinggi kandungan abu bakaran klinikal, maka konkrit akan semakin cepat mengeras. Ini disebabkan oleh rencaman kimia abu bakaran klinikal seperti klorin (Cl) yang dapat bertindak balas dengan simen dan air untuk menghasilkan kalsium klorida, yang mana kalsium klorida diketahui dapat digunakan sebagai pencepat pengerasan konkrit (Neville 1994 dan Taylor 1997). Dengan itu, penyesuaian bahan-bahan dibuat untuk tujuan pengacuan dengan cara menambahkan air mengikut kadar penyerapannya. Superplastikan tetap ditambahkan kerana tanpa superplastikan, KPT yang berkebolehkerjaan tinggi sukar dihasilkan (Aitcin 1994). Perubahan yang dilakukan adalah terhadap masa yang

diperlukan untuk pembancuhan dan penambahan air berdasarkan penyerapan menurut jumlah bahan tambah mineral yang digunakan. Masa pembancuhan adalah hanya 180 saat, iaitu 90 saat untuk pembancuhan agregat dengan separa air dan 90 saat masa yang diperlukan untuk penambahan simen dengan bahan tambah mineral dan air. Bahan tambah kimia ditambahkan setelah 30 saat pengadunan kedua.

JADUAL 2. Perincian kadar campuran KPT

Jenis Konkrit	Pengikat (B)			Agregat Kasar (kg)	Agregat Halus (kg)	Air (kg)	Bahan Tambah	
	Simen (kg)	Abu Bakaran Klinikal (kg)					SP* (%B)	AEA** (%B)
W/B = 0.35								
NPC	503	0		1050	687	195	1.50	0.055
CA-05	476	25		1046	685	205	1.50	0.043
CA-10	450	50		1043	683	214	1.50	0.043
CA-15	423	75		1039	680	223	1.50	0.043
CA-20	397	99		1035	678	233	1.50	0.043
CA-25	371	124		1032	676	242	1.50	0.043
CA-30	345	148		1028	673	251	1.50	0.043
CA-35	319	172		1025	671	260	1.50	0.043
W/B = 0.50								
NPC	370	0		1103	722	207	1.20	0.083
CA-05	351	18		1100	720	215	1.00	0.056
CA-10	331	37		1097	718	221	1.00	0.056
CA-15	312	55		1094	716	228	1.00	0.056
CA-20	293	73		1091	715	235	1.00	0.056
CA-25	274	91		1089	713	242	1.00	0.056
CA-30	255	109		1086	711	249	1.00	0.056
CA-35	236	127		1083	709	255	1.00	0.056

\* = Superplastikan. \*\* = Agen pemerangkapan udara.

Adunan konkrit dengan nisbah air-pengikat 0.35 lebih cepat mengeras daripada 0.50. Ini kerana semakin besar nisbah air-pengikat, maka kandungan air semakin tinggi tetapi kandungan simen dan abu bakaran klinikal semakin kecil. Selain itu, semakin tinggi kandungan abu bakaran klinikal, maka konkrit semakin cepat mengeras. Seterusnya, di dalam abu bakaran klinikal juga mengandungi bahan alkali klorin, ia juga dapat bertindak balas dengan unsur komponen lain di dalam abu bakaran klinikal tersebut untuk membentuk  $\text{NaCl}$  dan  $\text{CaCl}_2$ , yang mana kehadirannya dapat berfungsi sebagai pencepat pengerasan (Shi & Day 1995). Oleh itu, semakin tinggi peratus abu bakaran klinikal yang digunakan maka kandungan  $\text{CaCl}_2$  yang terbentuk semakin besar, sehingga adunan semakin cepat mengeras. Pengerasan konkrit yang cepat semasa pembancuhan juga dipengaruhi oleh suhu sekitaran, yang mana suhu sekitaran tinggi dapat menyebabkan konkrit tidak sempat dimasukkan ke dalam acuan. Penambahan abu bakaran klinikal juga meningkatkan luahan haba akibat penghidratan adunan pengikat dan ianya menjadi semakin tinggi dengan bertambahnya kandungan abu bakaran klinikal.

### KONKRIT KERAS

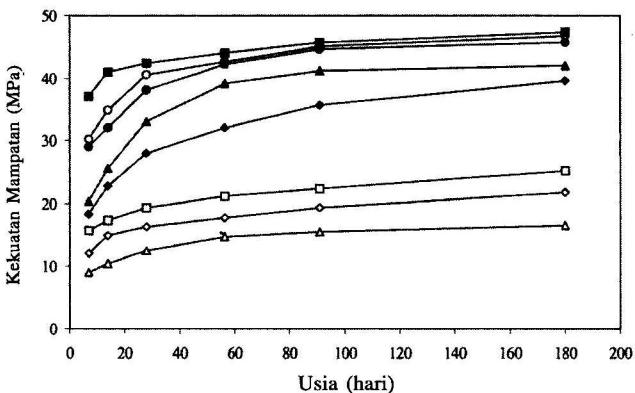
Nilai kekuatan mampatan yang dibandingkan berdasarkan nisbah air-pengikat dan pengawetan terdapat pada Jadual 3.a dan 3.b seterusnya diplot ke dalam bentuk graf, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.a hingga 2.d.

**JADUAL 3(a) Kekuatan mampatan konkrit untuk pengawetan berterusan dalam air yang bersesuaian dengan usia pengujian (MPa)**

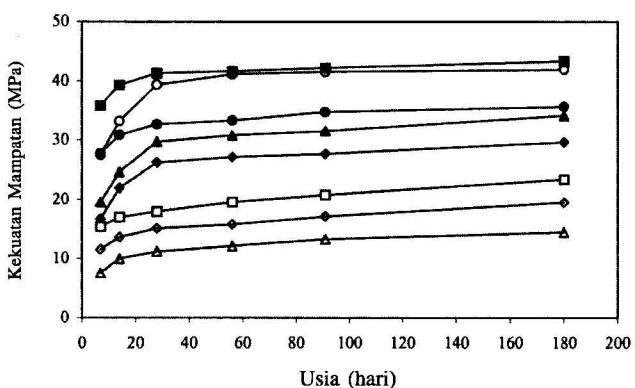
Jenis Konkrit	7 hari	14 hari	28 hari	56 hari	90 hari	180 hari
Nisbah Air-Pengikat = 0.35						
NPC	30.30	34.92	40.74	42.65	45.03	46.69
CA-05	37.21	41.00	42.57	44.08	45.67	47.35
CA-10	29.11	32.12	38.26	42.20	44.64	45.67
CA-15	20.38	25.59	33.19	39.29	41.20	42.00
CA-20	18.32	22.72	28.04	32.16	35.70	39.55
CA-25	15.58	17.30	19.28	21.11	22.38	25.26
CA-30	12.08	14.79	16.21	17.60	19.23	21.79
CA-35	8.91	10.39	12.38	14.61	15.39	16.40
Nisbah Air-Pengikat = 0.50						
NPC	15.33	17.65	21.00	23.89	25.39	27.94
CA-05	21.17	24.00	27.33	30.60	31.41	31.93
CA-10	19.67	20.33	24.89	27.97	29.12	30.92
CA-15	15.78	17.86	21.98	24.29	27.16	30.04
CA-20	13.04	14.26	17.24	20.13	22.35	23.02
CA-25	11.64	12.11	13.09	15.49	17.05	19.11
CA-30	10.15	10.77	11.70	13.10	13.87	15.77
CA-35	6.94	8.09	9.09	10.65	11.92	13.11

**JADUAL 3(b) Kekuatan mampatan konkrit untuk pengawetan terdedah berterusan dalam udara sekitaran yang bersesuaian dengan usia pengujian (MPa)**

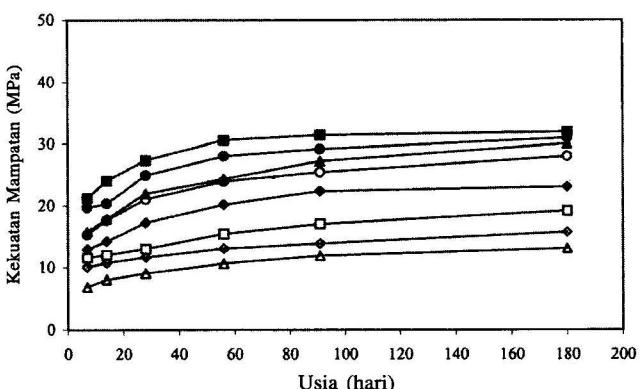
Jenis Konkrit	7 hari	14 hari	28 hari	56 hari	90 hari	180 hari
Nisbah Air-Pengikat = 0.35						
NPC	27.41	33.18	39.41	41.05	41.47	41.86
CA-05	35.78	39.25	41.26	41.60	42.14	43.29
CA-10	27.64	30.80	32.66	33.25	34.72	35.61
CA-15	19.56	24.59	29.69	30.77	31.50	34.15
CA-20	16.69	21.87	26.15	27.09	27.60	29.61
CA-25	15.37	16.93	17.94	19.53	20.72	23.35
CA-30	11.52	13.57	15.06	15.78	17.13	19.46
CA-35	7.53	9.97	11.15	12.07	13.25	14.44
Nisbah Air-Pengikat = 0.50						
NPC	14.92	16.53	19.82	22.35	23.18	25.24
CA-05	20.45	22.35	23.47	24.08	24.80	25.97
CA-10	18.59	19.52	20.98	21.22	21.65	23.50
CA-15	15.02	17.27	18.15	18.78	19.72	21.75
CA-20	12.39	13.87	16.64	17.30	18.84	19.58
CA-25	10.99	11.68	12.72	13.47	14.51	15.08
CA-30	9.92	10.53	11.26	12.29	12.77	14.36
CA-35	6.53	7.83	8.41	9.24	9.97	10.72



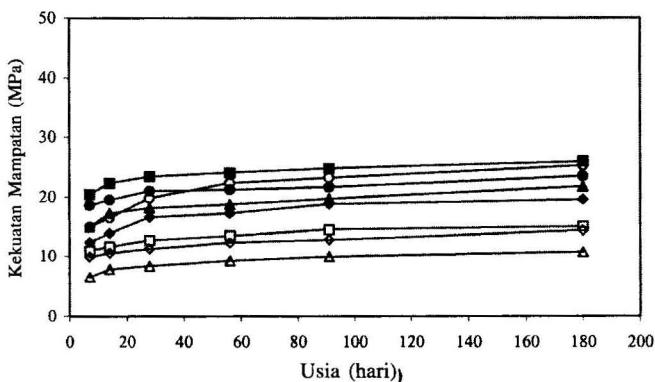
RAJAH 2(a) Pengaruh pertambahan abu bakaran klinikal terhadap kekuatan mampatan bagi konkrit berbeza usia untuk pengawetan berterusan dalam air dengan nisbah air-pengikat = 0.35. (■) = CA-05, (●) = CA-10, (▲) = CA-15, (◆) = CA-20, (□) = CA-25, (◇) = CA-30, (△) = CA-35, (○) = NPC



RAJAH 2(b) Pengaruh pertambahan abu bakaran klinikal terhadap kekuatan mampatan bagi konkrit berbeza usia untuk pengawetan terdedah berterusan dalam udara dengan nisbah air-pengikat = 0.35. (■) = CA-05, (●) = CA-10, (▲) = CA-15, (◆) = CA-20, (□) = CA-25, (◇) = CA-30, (△) = CA-35, (○) = NPC



RAJAH 2(c) Pengaruh pertambahan abu bakaran klinikal terhadap kekuatan mampatan bagi konkrit berbeza usia untuk pengawetan berterusan dalam air dengan nisbah air-pengikat = 0.50. (■) = CA-05, (●) = CA-10, (▲) = CA-15, (◆) = CA-20, (□) = CA-25, (◇) = CA-30, (△) = CA-35, (○) = NPC



RAJAH 2.d. Pengaruh pertambahan abu bakaran klinikal terhadap kekuatan mampatan bagi konkrit berbeza usia untuk pengawetan terdedah berterusan dalam udara sekitaran dengan nisbah air-pengikat = 0.50. (■) = CA-05, (●) = CA-10, (▲) = CA-15, (◆) = CA-20, (□) = CA-25, (◇) = CA-30, (△) = CA-35, (○) = NPC

Secara keseluruhan, kekuatan mampatan bagi semua jenis KPT yang terawet berterusan dalam air lebih tinggi daripada yang terdedah berterusan dalam udara sekitaran untuk kedua-dua nisbah air-pengikat, dan begitu juga dengan nisbah air-pengikat 0.35 lebih tinggi kekuatan mampatannya daripada 0.50. Kekuatan mampatan konkrit dengan abu bakaran klinikal yang diawetkan berterusan dalam air meningkat dengan bertambahnya usia, sedangkan pengawetan yang terdedah berterusan dalam udara sekitaran terjadi penambahan yang kecil untuk kedua-dua nisbah air-pengikat. Ini membuktikan bahawa cara pengawetan harus diambil kira dalam menghasilkan KPT.

Konkrit dengan kandungan abu bakaran klinikal 5% untuk kedua-dua nisbah air-pengikat dan kaedah pengawetan memperlihatkan kekuatan mampatan awal (7 hari) tinggi dan sedikit penambahan kekuatan mampatan hingga hari ke 180. Adunan konkrit dengan abu bakaran klinikal membuat adunan konkrit menjadi cepat mengeras, walau untuk penambahan 5% abu bakaran klinikal. Untuk nisbah air-pengikat 0.35, kekuatan mampatan CA-05 lebih tinggi daripada NPC, manakala jenis KPT lain adalah lebih kecil daripada NPC untuk kedua-dua kaedah pengawetan. Kekuatan mampatan untuk nisbah air-pengikat 0.50 dan pengawetan berterusan dalam air memperlihatkan CA-05, CA-10 dan CA-15 lebih tinggi daripada NPC dalam semua usia. Tetapi untuk pengawetan terdedah berterusan dalam udara sekitaran, pada usia 7 dan 14 hari lebih kecil daripada CA-05, CA-10 dan CA-15, pada usia 28 hari lebih besar daripada CA-15, dan pada usia 56, 90 dan 180 hari lebih kecil daripada CA-05.

Selain itu, abu bakaran klinikal menghasilkan kekuatan awal tinggi tetapi menghakis. Sifat menghakis ini disebabkan oleh kandungan klorin dalam abu bakaran klinikal yang sangat tinggi. Tindak balas antara kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) dan klorin ( $\text{Cl}$ ) yang terdapat dalam abu bakaran klinikal dengan air akan menghasilkan kalsium klorida ( $\text{CaCl}_2$ ), di mana ianya berfungsi sebagai pencepat pengerasan sehingga meningkatkan kekuatan mampatan awal konkrit. Manakala tindak balas natrium ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) dan klorin ( $\text{Cl}$ ) dengan air yang membentuk natrium klorida ( $\text{NaCl}$ ), akan menyebabkan kehilangan kekuatan konkrit bermula pada hari ke-7 (Neville 1994). Selain

itu, penambahan abu bakaran klinikal juga menghasilkan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  yang merupakan hasil tindak balas  $\text{Na}_2\text{O}$  dalam abu bakaran klinikal tinggi dengan  $\text{SO}_3$  dalam simen Portland. Kesan penambahan sedikit  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{CaCl}_2$  ini akan meningkatkan tindak balas pozzolana yang dapat memperbaiki kekuatan KPT, di mana  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sangat berpengaruh pada usia awal konkrit, manakala  $\text{CaCl}_2$  berpengaruh kepada kekuatan awal dan pertengahan (Shi & Day 1995).

Kekuatan mampatan konkrit menurun dengan pertambahan jumlah abu bakaran klinikal untuk kedua-dua nisbah air-pengikat dan kaedah pengawetan. Ini dapat dilihat pada nisbah air-pengikat 0.35 dengan pengawetan berterusan dalam air pada usia 28 hari, iaitu purata penurunan kekuatan mampatan yang terjadi 13% dari CA-05 hingga CA-20. Ini disebabkan konkrit dengan abu bakaran klinikal semakin cepat mengeras sejajar dengan pertambahan peratusnya, dan ia juga sangat dipengaruhi oleh suhu sekitarannya, sehingga konkrit menjadi kurang ketekalannya kerana terdapat ruang antara lapisan semasa pensampelan. Oleh itu, pengisian konkrit ke dalam acuan dilakukan dalam tempoh 10 minit selepas penambahan air baki, sebelum konkrit mengeras. Sedangkan dari CA-20 ke CA-25 terjadi penurunan yang tinggi iaitu 31%. Dari CA-25 ke CA-30, penurunan kekuatan mampatan yang terjadi adalah 16% atau selari dengan CA-25. Tetapi dari CA-30 ke CA-35 terjadi penurunan kekuatan mampatan yang juga tinggi atau 24%. Ini disebabkan oleh konkrit dengan kandungan abu bakaran klinikal yang tinggi (25%, 30% dan 35%), tidak terjadi pengecutan pengeringan disebabkan oleh pengerasan yang cepat (pengacuan diselesaikan dalam tempoh 3 minit), sehingga menghasilkan konkrit yang lebih berliang akibat daripada proses penghidratan awal yang cepat. Seperti diketahui, penggunaan bahan tambah mineral sebagai pengganti sebahagian simen dapat meningkatkan keliangan tetapi menurunkan purata saiz liang adunan pengikat pada usia 28 dan seterusnya (Poon et al. 1999). Peningkatan keliangan ini akan mengakibatkan menurunnya kekuatan mampatan konkrit (Pandey & Sharma 2000, Chan et al. 2000 dan Dallaire et al. 1998), tetapi keliangan menurun dengan bertambahnya usia konkrit (Zhang 1995).

Selain daripada itu, konkrit yang mengandungi abu bakaran klinikal 25%, 30% dan 35% untuk kedua-dua nisbah air-pengikat yang terdedah berterusan dalam udara sekitaran menjadi rapuh atau mudah rosak. Tetapi perlu juga diketahui, bahawa sampel konkrit yang pengawetannya berterusan dalam air, untuk sampel dengan abu bakaran klinikal tidak terlihat sebarang liang pada bahagian luar sampel (permukaan sampel licin) sedangkan untuk sampel dengan simen Portland sahaja terdapat banyak gelembung air pada bahagian luarnya.

Selain itu, abu bakaran klinikal mengandungi sebatian kimia seperti  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mahupun hasil tindak balas dengan simen dan air yang menghasilkan  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NaCl}$  dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , yang mana kesemua sebatian ini dapat mempengaruhi kekuatan mampatan konkrit. Kandungan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tinggi (di atas 13%) dapat meningkatkan kekuatan awal tetapi menurun dengan bertambahnya usia konkrit, begitu juga dengan  $\text{CaCl}_2$  (Taylor 1997). Penambahan 1% atau 2% dapat meningkatkan kekuatan, tetapi penambahan 3.5% dapat menurunkan kekuatan konkrit. Oleh itu, peningkatan kandungan abu bakaran klinikal juga meningkatkan kadar rencaman kimia ini yang bererti menurunkan kekuatan mampatan konkrit. Oleh itu, kekuatan mampatan

tinggi hanya dihasilkan oleh KPT dengan abu bakaran klinikal yang terawet berterusan dalam air untuk nisbah air-pengikat 0.35 adalah 42.57 MPa, dan memenuhi kriteria KPT iaitu lebih besar daripada 40 MPa (Aitcin 1995) atau sekitar 42 MPa (Zia 1991). Secara keseluruhan dapat dilihat bahawa nisbah air-pengikat, kaedah pengawetan, usia, serta kandungan abu bakaran klinikal berpengaruh kepada kekuatan mampatan KPT. Bagaimanapun kelambatan proses pengerasan konkrit tidak mempunyai pengaruh kepada pembangunan kekuatan KPT (Sivasundaram et al. 1991).

## KESIMPULAN

Abu bakaran klinikal dapat mempercepat pengerasan konkrit seterusnya meningkatkan kekuatan mampatan dengan bertambahnya usia konkrit bagi kedua-dua nisbah air-pengikat dan kaedah pengawetan. Kaedah pengawetan dan nisbah air-pengikat mempengaruhi kekuatan mampatan, yang mana kekuatan mampatan untuk pengawetan yang berterusan dalam air lebih tinggi daripada pengawetan yang terdedah berterusan dalam udara sekitaran untuk kedua-dua nisbah air-pengikat. Sebaliknya kekuatan mampatan semakin menurun dengan bertambahnya kandungan abu bakaran klinikal untuk kedua-dua nisbah air-pengikat dan kedua-dua pengawetan. Kekuatan mampatan konkrit yang mengandungi 5% abu bakaran klinikal menghasilkan kekuatan mampatan yang tertinggi di antara jenis KPT lainnya.

## RUJUKAN

- Aitcin, P. C. 1995. Developments in the application of high performance concretes. *Construction and Building Material* 9:13-17.
- Aitcin, P. C. 1994. The use of superplasticizers in high performance concrete. *High Performance Concrete: From Material to Structure*
- Chan, Y. N., Luo, X. & Sun, W. 2000. Compressive strength and pore structure of high-performance concrete after exposure to high temperature up to 800 °C. *Cement and Concrete Research* 30:247-251.
- Dallaire, E., Aitcin, P. C. & Lachemi, M. 1998. High-performance powder, *Civil Engineering*, 68:48-51.
- Neville, A. M. 1994. Sifat konkrit, (Terjemahan sah daripada Properties of Concrete, Third Edition). Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka.
- Pandey, S. P. & Sharma, R. L. 2000. The influence of mineral additives on the strength and porosity of OPC mortar. *Cement and Concrete Research* 30:19-23.
- Poon, C. S., Lam, L. & Wong, Y. L. 1999. Effects of fly ash and silica fume on interfacial porosity of concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering* 11:197-205.
- Shi, C. & Day, R. L. 1995. Acceleration of the reactivity of fly ash by chemical activation *Cement and Concrete Research* 25:15-21.
- Sivasundaram, V., Carette, G. G. & Malhotra, V. M. 1991. Mechanical properties, creep, and resistance to diffusion of chloride ions of concretes incorporating high volumes of ASTM class F fly ashes from seven different sources. *ACI Materials Journal* 88:407-416.
- Taylor, H. F. W. 1997. *Cement Chemistry* Edisi ke 2. London: Thomas Telford.
- Zhang, M. H. 1995. Microstructure, crack propagation, and mechanical properties of cement pastes containing high volumes of fly ashes. *Cement and Concrete Research* 25:1165-1178.

Zia, P., Leming, M. L. & Ahmad, S. H. 1991. *High performance concrete: A State of the Art Report*. SHRP-C/FR-91-103. North Carolina State University.

Mardalena dan Hassan Basri  
Jabatan Kejuruteraan Awan dan Struktur

Muhammad Fauzi Mohd. Zain  
Jabatan Seni Bina  
Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600 UKM Bangi.  
Selangor D.E.