

Penentuan Tahap Kakisan Tetulang Keluli Menggunakan Kaedah Pengecilan Amplitud

Roszilah Hamid, Khairul Anuar Mohd Nayan, Kamarudin Mohd Yusof dan Wan Marzuliani Wan Mohd

Jabatan Kejuruteraan Awam dan Struktur
Fakulti Kejuruteraan,
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600, Bangi, Selangor,
Malaysia
E-mail: rsozilah@eng.ukm.my

Received Date: 28th June 2006 Accepted Date: 25th November 2008

ABSTRAK

Kajian ini bertujuan untuk menentukan kaedah pengecilan amplitud dapat menentukan tahap kakisan tetulang keluli tanpa perlu memusnahkan struktur tersebut dan tidak perlu berkeadaan tepu. Dalam kaedah ini, satu gelombang tekanan dihasilkan dengan menjatuhkan bola keluli ke permukaan konkrit. Gelombang akan merambat kedalam struktur dan akan dipantulkan oleh kecacatan struktur dalaman konkrit atau permukaan luar nya. Bentuk gelombang yang terhasil iaitu graf amplitud lawan frekuensi telah direkodkan. Nilai frekuensi gelombang pantulan tetulang, f_{st} , ditentukan berdasarkan halaju gelombang di dalam konkrit dan ketebalan penutup konkrit. Sampel konkrit bersaiz $300 \times 150 \times 150$ mm³ dan ditanam dengan tetulang berdiameter 20 mm. Konkrit gred 15 dan 20 telah digunakan. Medium ujian ialah larutan 120 g/l NaCl. Sampel direndam dalam medium dan dibiarkan selama 42 hari (G15N dan G20N). Sampel yang lain direndam selama 20 hari dalam medium dan tetulang disambungkan dengan bekalan kuasa aliran elektrik terus untuk mempercepatkan proses pengaratan (G15E dan G20E). Keputusan menunjukkan amplitud f_{st} bagi G15N menurun sebanyak 21% dari 20 hari rendaman hingga 42 hari rendaman dan 24% bagi G20N. Bagi sampel dengan pengaratan yang dipercepatkan pula, iaitu G15E dan G20E, penurunan amplitud f_{st} dari hari 14 ke hari ke 20 ialah sebanyak 15% dan 18%. Jika dibandingkan dengan ujian separa sel, peratus penurunan amplitud adalah lebih kurang separuh (kecuali G20E) dari peratus pengurangan keupayaan elektrik bagi tempoh yang sama (masing-masing 52%, 50%, 28% dan 16%). Ini menunjukkan tahap kakisan boleh ditentukan dengan menggunakan kaedah pengecilan amplitud. Peratus pengurangan amplitud keseluruhan adalah 46% (G15N), 43% (G20N), 54% (G15E) dan 52% (G20E) masing-masing.

Kata kunci: tahap kakisan tetulang, ujian sel separa, pengecilan amplitud.

ABSTRACT

This study is to determine whether the amplitude attenuation method can be used to measure the corrosion rate of rebars without having to hack the structure nor it need not to be in saturated form. A pressure wave is

generated by dropping a small steel ball onto the concrete surface. This wave will propagate through the concrete and will be reflected by defects and the opposite surface of the concrete. The wave in the form of amplitude versus frequency is recorded. The frequency reflected by the rebar, *f_{st}*, can be determined based on *C_P*, the wave velocity in concrete, and the thickness of the concrete cover. Concrete prisms (300 × 150 × 150 mm³) of Grade 15 and 20, embedded with 20 mm diameter of rebar were immersed in 120g/l NaCl concentration for 42 days (G15N and G20N). Other samples were left immersed for 20 days and the corrosion process is accelerated by connecting the rebars to a direct current supply (G15E and G20E). Results show that the amplitude at *f_{st}* for G15N reduces 21% from the 20th day of immersion to the 42nd day and 24% for G20N. For the samples that had undergone accelerated corrosion process (G15E), the *f_{st}* amplitude reduction from day 14th of immersion to day 20th is 15% and 18% for G20E. The percentage reductions of electrical potential in the half-cell test are 52%, 50%, 28% and 16% during the same time duration. It can be seen that the amplitude attenuation measurement can determine the corrosion activity of the steel rebars. The overall reductions of amplitude are 46% (G15N), 43% (G20N), 54% (G15E) and 52% (G20E) respectively.

Keywords: Corrosion rate of rebars, half-cell test, amplitude attenuation.

PENGENALAN

Pengawasan kecacatan konkrit memainkan peranan penting dalam proses pemulihan konkrit. Konkrit tetulang adalah merupakan bahan binaan utama dalam pembinaan, maka adalah penting untuk memastikan konkrit berada dalam keadaan sempurna dan sebarang kecacatan yang berlaku dapat dikawal dan di baik pulih. Kakisan pada tetulang konkrit adalah disebabkan oleh beberapa mekanisme seperti serangan asid pada tetulang, pengoksidaan secara langsung seperti kebakaran dan pengoksidaan secara tidak langsung seperti kakisan elektrokimia. Kakisan elektrokimia dalam konkrit berlaku disebabkan perbezaan dalam logam atau tidak keseragaman tetulang keluli dan ketidakseragaman ini boleh menghasilkan perbezaan keupayaan elektrik dan menyebabkan kakisan (Popovic & Simeonov 1983).

Faktor-faktor yang mendorong kakisan ialah kehadiran ion klorida, kandungan lembapan, nisbah air/simen, komposisi agregat dan simen, kesan perubahan aktiviti pembinaan, iaitu dari segi penutup tetulang konkrit, darjah pengukuhan konkrit, dan juga rawatan konkrit. Faktor yang akan di lihat dalam kajian ini ialah nisbah air simen iaitu 0.65 (Gred 20) dan 0.72 (Gred 15). Sementara itu, kaedah yang biasa digunakan untuk menentukan tahap kakisan tetulang ialah ujian separa sel (ASTM C876 – 91). Ujian separa sel dilakukan bagi menentukan keupayaan elektrik pada tetulang keluli, dengan

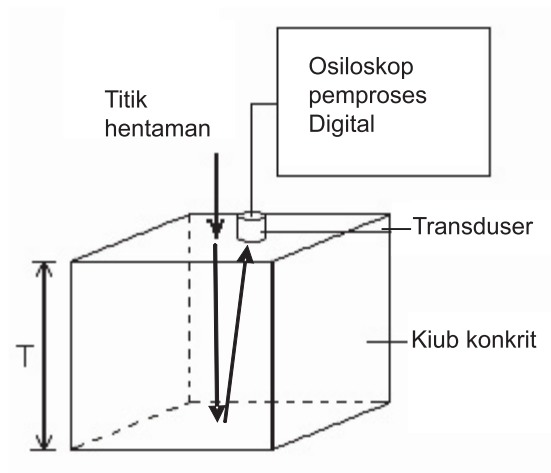
merujuk kepada sel separa piawai, contohnya elektrod piawai kuprum atau kuprum sulfat. Satu sambungan yang berliang pada salah satu hujung sel separa disentuh pada permukaan konkrit. Hujung ini disambungkan kepada milivoltmeter digital dan tetulang keluli. Perbezaan keupayaan antara tetulang dan separuh sel dapat diukur. Dalam ujian ultrasonik pula, kaedah pengecilan amplitud digunakan.

Kaedah ini memberi keputusan yang baik dalam menentukan kadar kakisan (Dawson 1983). Tetapi masalah ujian ultrasonik ialah kesukaran bagi kedua-dua transduser dapat diletakkan tepat bertentangan diantara satu sama lain pada elemen struktur seperti papak dan rasuk. Dalam kaedah gema hentaman (Liang & Su 2001) pula, ujian dapat dilakukan dari permukaan konkrit. Kajian ini adalah untuk menentukan kaedah pengecilan amplitud dapat mengukur tahap kakisan tetulang berbanding kaedah ujian separa sel.

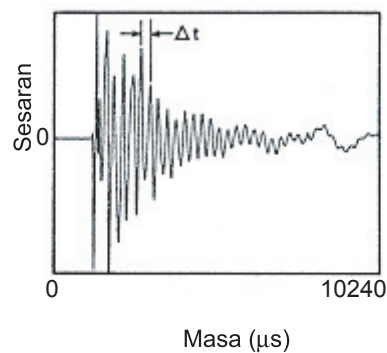
METODOLOGI

Konsep pengujian

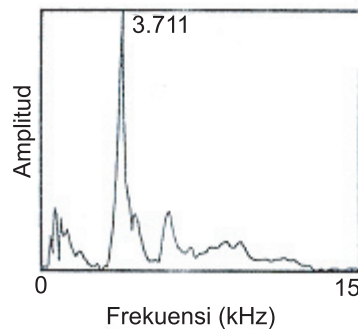
Bola keluli dijatuhkan pada permukaan konkrit dan gelombang yang terhasil dapat dicerap melalui transduser penerima yang diletakkan bersebelahan titik jatuhnya tersebut. Susunan skema ujian ini ditunjukkan dalam Rajah 1 dan paparan osiloskop ditunjukkan dalam Rajah 2a dan 2b.



Rajah 1. Susunan skema ujian gema hentaman



Rajah 2a. Bentuk gelombang sesaran tipikal



Rajah 2b. Bentuk gelombang spektrum amplitud tipikal

Rajah 1 menunjukkan susunan peralatan bagi ujian gema hentaman. Denyut gelombang tekanan, P , dari hentaman kinetik merambat kedalam konkrit dan apabila gelombang tersebut sampai ke permukaan bawah konkrit, ia akan dipantulkan. Gelombang yang dipantulkan ini akan merambat ke permukaan atas dan akan dipantulkan semula oleh permukaan atas tersebut, menghasilkan turutan gelombang yang terpantul keatas dan kebawah. Transduser yang

disambungkan ke osiloskop pemproses data digital akan merakam, menghasilkan semula dan memaparkan gelombang dalam domain masa dan domain frekuensi.

Dalam Rajah 2a, perubahan masa, Δt , diantara dua puncak yang berturutan ialah masa yang diambil oleh gelombang tekanan untuk merambat kebawah dan dipantulkan semula keatas sejajar dengan tebal sampel, menjadikan jarak perambatan gelombang adalah dua kali ketebalan sampel.

Jadi, halaju gelombang tekanan dapat dikira sebagai:

$$C_p = \frac{2T}{\Delta t} \quad (1)$$

dengan C_p = halaju gelombang tekanan; T = ketebalan konkrit; dan Δt = masa yang diambil diantara dua puncak yang berturutan.

Transformasi Fourier Cepat (Fast Fourier Transformation - FFT) digunakan untuk menukarkan sesaran dari domain masa kepada amplitud pada domain frekuensi (Rajah 2). Frekuensi gelombang, f_p , dapat dikira seperti berikut:

$$f_p = \frac{1}{\Delta t} \quad (2)$$

dengan f_p = frekuensi gelombang tekanan dimana amplitud maksimum berlaku. Dari persamaan (1) dan (2), halaju gelombang tekanan, C_p , dapat dikira:

$$C_p = 2 f_p T \quad (3)$$

Persamaan (3) hanya sah untuk pantulan daripada antara muka yakni bahan pada antara muka mempunyai rintangan akustik yang lebih rendah daripada konkrit. Sebagai contoh, pada permukaan luaran, pantulan berlaku diantara muka konkrit-udara, konkrit-air atau konkrit – tanah. Dalam kesemua kes ini, rintangan akustik (ketumpatan \times halaju gelombang-P) konkrit adalah lebih besar kerana konkrit mempunyai ketumpatan yang lebih besar daripada udara, air dan tanah.

Jika konkrit adalah konkrit bertetulang, gelombang akan merambat melalui konkrit dan akan bertembung dengan tiga jenis sempadan antara permukaan iaitu antara konkrit dengan tetulang (pada bahagian atas tetulang), antara tetulang dengan konkrit (pada bahagian bawah tetulang) dan antara konkrit dan udara (bahagian permukaan bertentangan dengan permukaan yang diuji). Pada antara muka dimana rintangan akustik bagi bahan yang terletak di bawah mempunyai nilai yang lebih rendah (antara muka pepejal-udara), bentuk gelombang P akan bertukar iaitu daripada gelombang tegasan mampatan kepada gelombang tegangan, seperti ditunjukkan dalam Rajah 3(a) dan 3(b). Rajah 3(a) menunjukkan gelombang-P yang merambat antara atas dan bawah permukaan konkrit.

Dalam contoh ini, gelombang mampatan (1) dihasilkan oleh hentaman menukar kepada

gelombang tekanan (2) yang disebabkan pantulan daripada permukaan bawah konkrit. Gelombang tekanan ini merambat balik sebagai gelombang mampatan (3) apabila ia sampai ke permukaan atas konkrit. Kitaran ini berulang dan gelombang merupakan gelombang tekanan setiap kali gelombang sampai ke atas konkrit. Gelombang tekanan ini menyebabkan sesaran dalaman iaitu muncul sebagai anjakan ke bawah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3(b). Sesaran ke bawah ini ditunjukkan oleh anak panah yang bertanda 2P, 4P, 6P dan seterusnya dalam Rajah 3(b).

Jadi, frekuensi untuk gelombang tekanan yang sampai ke permukaan adalah $C_p/2T$ (persamaan 3). Rajah 3(c) dan 3(d) merupakan kes apabila terdapat bahan yang tertanam dalam konkrit yang mempunyai rintangan akustik yang lebih tinggi daripada konkrit seperti tetulang keluli. Rajah 3(c) menunjukkan secara skema perambatan gelombang P dalam lapisan atas plat yang mengandungi lapisan konkrit di atas lapisan keluli. Dalam kes ini, apabila gelombang-P (1) ditujukan ke atas antara muka konkrit-keluli, ia tidak menukar gelombang mampatan selepas pemantulan.

Seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3(d), pemantulan gelombang mampatan (2P) menyebabkan anjakan ke atas apabila sampai ke atas permukaan. Gelombang mampatan (2) ini bertukar ke gelombang tekanan (3) apabila ia dipantulkan di atas permukaan (antara muka konkrit-udara). Gelombang tekanan ini seterusnya dipantulkan di antara muka konkrit-keluli menjadi gelombang tekanan (4), dan apabila tiba di atas permukaan, ia menyebabkan anjakan ke bawah. Jadi kala bagi gelombang tekanan sampai ke permukaan atas adalah dua kali ganda daripada kes sebelumnya dan frekuensi adalah

$$f_{st} = C_p/4d_{st} \quad (4)$$

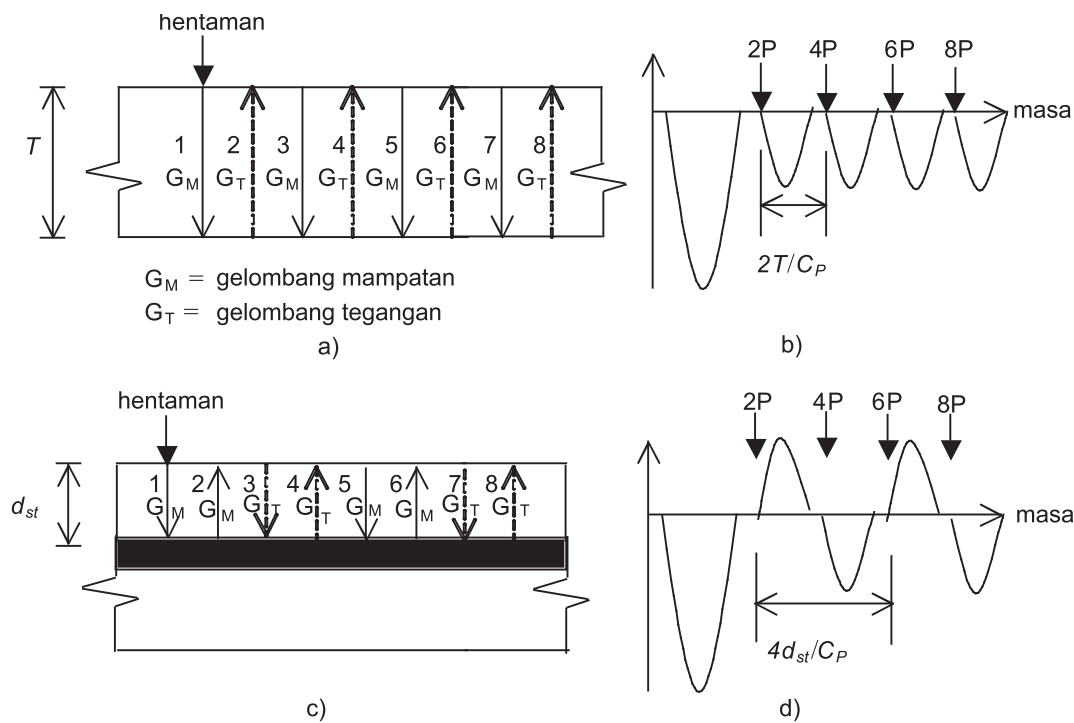
di mana,

f_{st} = frekuensi gelombang pantulan tetulang

d_{st} = jarak kedalaman tetulang dari permukaan konkrit

C_p = halaju gelombang tekanan

Hasil analisis spektrum dipengaruhi oleh diameter tetulang (D) dan kedalaman tetulang keluli dalam konkrit (d_{st}) (Cheng & Sansalone 1993). Apabila nilai D/d_{st} kurang daripada 0.3,



Rajah 3 i) Pantulan gelombang bagi antara muka konkrit-udara:

a) model; b) bentuk gelombang

ii) Pantulan gelombang bagi antara muka konkrit-tetulang

c) model; d) bentuk gelombang.

Sumber : Cheng dan Sansalone, 1993

nilai puncak spektrum berdasarkan pantulan tetulang keluli akan hilang atau berkurang. Jika D/d_{st} kurang daripada 0.3, pengukuran kedalaman keluli atau frekuensi gelombang pantulan tetulang menjadi amat sukar. Untuk nilai $0.3 \leq D/d_{st} \leq 1$, Cheng dan Sansalone (1993) mencadangkan faktor pembetulan, ξ untuk persamaan (4) seperti dibawah:

$$f_{st} = \xi C_p / 4d_{st} \quad (5)$$

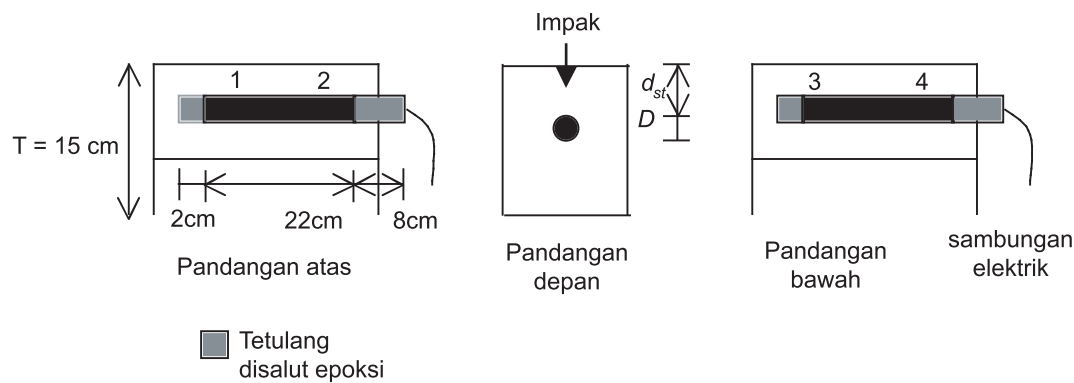
dengan ξ ditakrifkan sebagai:

$$\xi = -0.6 (D/d_{st}) + 1.5 \quad (6)$$

Jika nilai D/d_{st} diketahui, frekuensi f_{st} dapat ditentukan, dan dengan menggunakan persamaan (5), perubahan amplitud di kedudukan frekuensi gelombang pantulan tetulang dapat di cerap untuk menentukan samada tetulang telah terkakis (Liang & Su 2001). Jika tetulang telah terkakis, f_{st} akan berkurang, disebabkan oleh pengurangan dalam diameter tetulang keluli (persamaan 5).

SAMPEL KAJIAN

12 sampel prisma konkrit (300 mm \times 150 mm \times 150 mm) yang didalamnya ditanam dengan tetulang keluli bergarispusat 20 mm dengan satu hujung bar di biarkan terkeluar dari konkrit (Rajah 4), sampel masing-masing 6 dari konkrit gred 15 dan 20 telah direndam di dalam larutan 120 g/l NaCl. Kedua-dua hujung tetulang disalut dengan epoksi Setiap set 3 sampel direndam dalam larutan NaCl dan dibiarkan selama 42 hari (G15N dan G20N), dan setiap satu set 3 sampel yang lain direndam selama 20 hari dalam larutan NaCl dan tetulang disambungkan dengan bekalan kuasa aliran elektrik terus untuk mempercepatkan proses pengaratan (G15E dan G20E). Blok konkrit tetulang di balut dengan jejaring aloi titanium. Tetulang disusun sebagai anod dan aloi titanium sebagai katod. Wayar elektrik disambung ke tetulang dan kemudiannya disambung kepada sumber arus terus. Ketumpatan arus malar bagi proses ini adalah 1 mA/cm².



Rajah 4. Kedudukan tetulang dan titik hentaman (1, 2, 3 dan 4) bagi setiap sampel

UJIAN GEMA HENTAMAN

Kedudukan titik hentaman adalah tepat di atas kedudukan tetulang bagi setiap sampel adalah seperti ditunjukkan dalam Rajah 4, iaitu setiap sampel dilakukan ujian sebanyak 3 kali pada setiap 4 titik berbeza. Sampel diuji sebaik-baik sahaja dikeluarkan dari acuan. Untuk hari-hari berikutnya, sampel dikeluarkan dari tangki rendaman untuk diuji iaitu pada hari 7, 14, 17 dan 20 bagi set G15E dan G20E dan 7, 14, 21 dan 42 bagi set G15N dan G20N.

Bola keluli berdiameter 9 mm digunakan untuk menjana gelombang tekanan kedalam konkrit. Sesaran permukaan yang disebabkan oleh pantulan gelombang akan direkodkan oleh transduser yang terletak berhampiran dengan titik hentaman. Gelombang tekanan yang diterima oleh transduser akan dianalisis bentuknya menggunakan perisian PulseLabShop Version 7.0 yang di muatkan dalam komputer mudah alih. Kemudian bentuk gelombang sesaran melawan masa ditukarkan ke domain frekuensi menggunakan Transformasi Fourier Cepat.

UJIAN KEUPAYAAN SEPARA SEL

Ujian separa sel dijalankan bagi set G15E dan G20E pada hari ke 14 dan 20 dan untuk set G15N dan G20N ujian dijalankan pada hari ke 21 dan 42.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Halaju Gelombang Tekanan Dan Frekuensi Gelombang Pantulan Tetulang

Halaju gelombang tekanan dalam konkrit dikira menggunakan persamaan (3). Keputusan yang dicatatkan pada hari acuan dibuka (0 hari rendaman) adalah seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 1.

Keputusan jelas menunjukkan halaju gelombang didalam konkrit bergred lebih tinggi adalah lebih tinggi dari konkrit bergred rendah. Halaju gelombang dalam konkrit ini tidak berubah walaupun selepas proses kakisan dijalankan, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 5, frekuensi puncak maksimum bagi sampel ujikaji tidak berubah pada tiap kali pengukuran pada hari berlainan dijalankan. Nilai CP yang diukur ini digunakan dalam persamaan (5) untuk menentukan frekuensi gelombang pantulan tetulang. Faktor pembetulan, ξ , adalah dikira menggunakan persamaan (6). Frekuensi pantulan gelombang tetulang yang dikira adalah pada Jadual 2.

Jadual 1. Halaju gelombang tekanan dalam konkrit sebaik acuan dibuka

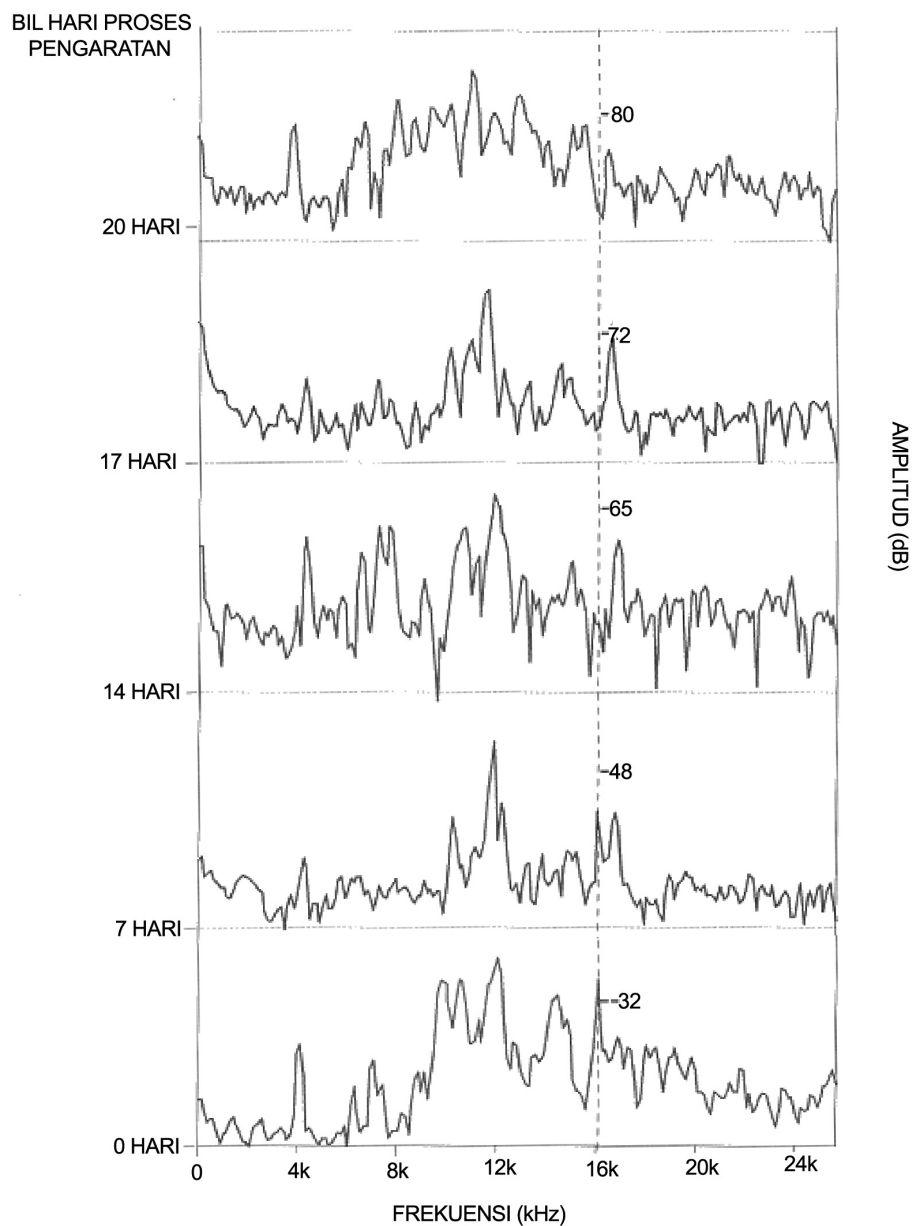
Set	Purata Frekuensi (kHz)	Halaju gelombang, CP (m/s)
G15E	10.50	3155.2
G15N	10.63	3190.6
G20E	10.92	3276.3
G20N	10.91	3273.2

Jadual 2. Frekuensi gelombang pantulan tetulang sebaik acuan dibuka

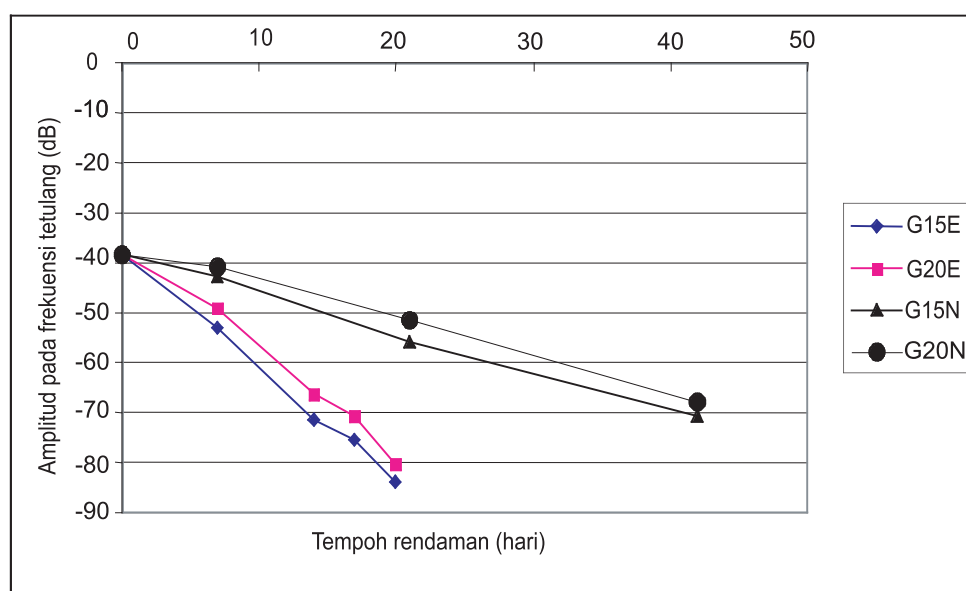
Set	$d_{st} = (0.15-0.02)/2$ (m)	ζ	f_{st} (kHz)
G15E	0.065	1.32	16.02
G15N	0.065	1.32	16.20
G20E	0.065	1.32	16.63
G20N	0.065	1.32	16.62

Bentuk gelombang dalam domain frekuensi di mana paksi menegak ialah amplitud (unit desiBel - dB) melawan paksi melintang (frekuensi) akan dianalisis. Pada hari-hari ujian dijalankan,

amplitud pada frekuensi tetulang direkodkan. Satu spektrum tipikal bagi sampel G20E pada hari-hari ujian dijalankan adalah seperti ditunjukkan dalam Rajah 5.



Rajah 5. Spektrum tipikal bagi sampel G20E mengikut tempoh rendaman bagi ujian kakisan



Rajah 6. Perubahan amplitud pada frekuensi tetulang mengikut tempoh rendaman

PERUBAHAN AMPLITUD PADA FREKUENSI GELOMBANG PANTULAN TETULANG

Rajah 6 menunjukkan purata amplitud pada frekuensi gelombang pantulan tetulang bagi 3 kali ujian di tiap 4 titik pada sampel-sampel kajian mengikut tempoh rendaman.

Berdasarkan kepada Rajah 6, didapati kadar penurunan amplitud frekuensi gelombang pantulan tetulang bagi sampel direndam dalam air garam berelektrik (G15E dan G20E) adalah lebih tinggi berbanding dengan sampel direndam dalam air garam tak berelektrik. Perbandingan dari segi gred pula menunjukkan kadar penurunan amplitud bagi frekuensi gelombang pantulan tetulang bagi sampel gred 15 adalah lebih tinggi berbanding dengan sampel gred 20 bagi kedua-dua set. Keputusan ini menunjukkan nisbah air/simen yang rendah dapat mengurangkan

kakisan tetulang berbanding konkrit dengan nisbah air/simen tinggi. Ini disebabkan oleh nisbah air/simen menentukan kadar penyerapan konkrit.

Konkrit yang mempunyai kadar resapan yang tinggi (nisbah air/simen tinggi) membenarkan kemasukan kelembapan, klorida, oksigen dan karbon dioksida kepada tetulang yang tertanam di dalam konkrit yang mendorong pengurangan tetulang.

PERUBAHAN KEUPAYAAN DALAM UJIKAJI SEPARA SEL

Setiap sampel diambil 3 bacaan keupayaan pada kedudukan sepanjang tetulang pada hari-hari tertentu dan keputusan bagi setiap set dipuratakan dan ditunjukkan dalam Jadual 3 dan 4.

Jadual 3. Purata keupayaan bagi set G15E dan G20E

Bil	Sampel	Purata keupayaan (mV)	
		14 hari	20 hari
1	G15E	-192.6	-268.3
2	G20E	-161.3	-191.53

Jadual 4. Purata keupayaan bagi set G15N dan G20N

Bil	Sampel	Purata keupayaan (mV)	
		21 hari	42 hari
1	G15N	-85.3	-179.89
2	G20N	-75.9	-151.67

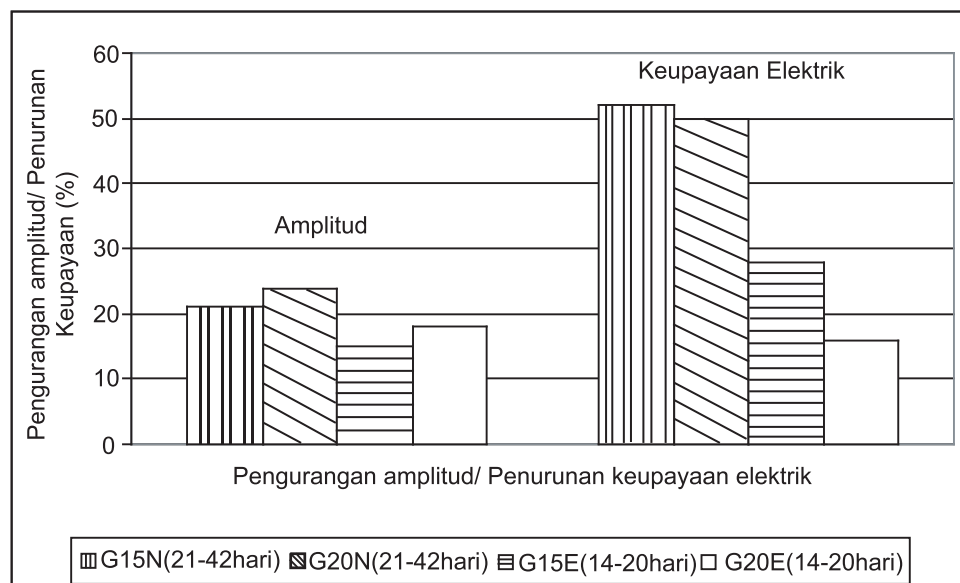
Keputusan yang di catat oleh ujian separa sel adalah bertepatan dengan keputusan yang didapati menggunakan kaedah gema hentaman (Rajah 6). Merujuk kepada Jadual 3 dan 4, didapati peluang untuk berlaku kakisan bagi sampel yang direndam dalam air garam yang dibekalkan dengan elektrik adalah lebih tinggi berbanding dengan sampel yang direndam dalam air garam yang tidak dibekalkan dengan elektrik, walaupun masa rendaman bagi sampel G15N dan G20N adalah lebih lama berbanding sampel G15E dan G20E. Kehadiran arus elektrik dalam air garam set G15E dan G20E mempercepatkan perpindahan ion-ion dari katod ke anod dan dari anod ke katod dan seterusnya mempercepatkan proses kakisan tetulang.

PERBANDINGAN KAEDAH GEMA HENTAMAN DENGAN UJIAN SEPARA SEL

Daripada keputusan-keputusan ujian gema hentaman dan separa sel, didapati kedua-duanya

telah dapat menunjukkan kebolehan mengukur tahap pertambahan kakisan tetulang-tetulang dalam konkrit, iaitu pengurangan nilai amplitud bagi frekuensi kedudukan tetulang dengan peningkatan kadar pengaratan bagi ujian gema hentaman dan penurunan keupayaan elektrik dengan meningkatnya kadar pengaratan bagi ujian separa sel. Peratus pengurangan amplitud / penurunan keupayaan bagi setiap set adalah seperti ditunjukkan dalam Rajah 7.

Rajah 7 menunjukkan amplitud fst bagi set G15N menurun sebanyak 21% dari hari ke 21 direndam sehingga 42 hari. Bagi G20N pula penurunan amplitud fst ialah 24%. Bagi set pengaratan yang mempunyai peluang terkakis yang tinggi pula, iaitu set G15E penurunan amplitud fst dari hari 14 ke hari ke 20 ialah sebanyak 15% dan G20E ialah 18%. Jika dibandingkan dengan ujian separa sel, setiap set menunjukkan peratus perubahan



Rajah 7. Peratus pengurangan amplitud dan penurunan keupayaan elektrik bagi setiap set sampel

amplitud lebih kurang separuh (kecuali G20E) dari peratus pengurangan keupayaan elektrik bagi tempoh yang sama (masing-masing 52%, 50%, 28% dan 16%). Ini menunjukkan penentuan tahap kakisan menggunakan kaedah gema hentaman, walaupun kurang sensitif berbanding kaedah separa sel, boleh digunakan tanpa perlu memusnahkan struktur konkrit. Konkrit juga tidak perlu berkeadaan tepu kerana kandungan kelembapan konkrit tidak akan mempengaruhi nilai frekuensi puncak kedalaman dan juga frekuensi pantulan tetulang seperti yang dibincangkan dalam kajian terdahulu (Hamid et al 2005). Peratus pengurangan amplitud keseluruhan dari hari pertama ke hari ke 42 dan 20 adalah masing-masing 46% (G15N),

43% (G20N), 54% (G15E) dan 52% (G20E) bagi setiap set.

KESIMPULAN

Amplitud frekuensi gelombang pantulan tetulang adalah semakin berkurang dengan peningkatan tahap kakisan. Kadar penurunan amplitud ini adalah berlainan mengikut set dan gred. Keputusan ini selaras dengan keputusan ujian separa sel. Ini menunjukkan penentuan tahap kakisan menggunakan kaedah gema hentaman, walaupun kurang sensitif berbanding kaedah separa sel, boleh digunakan bagi meramal tahap kakisan tanpa memusnahkan struktur konkrit dan konkrit tidak perlu berkeadaan tepu.

RUJUKAN

- ASTM C 876 – 91. Standard Test Method for Half Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. *Annual Book of ASTM Standards*. Philadelphia.
- Cheng dan Sansalone, M. 1993. Effects on Impact-Echo Signals Caused by Steel Reinforcing Bars and Voids around Bars. *ACI Materials Journal* 90 (5) : 421- 434.
- Dawson, J.L., 1983. *Corrosion monitoring of steel in concrete. Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction*. 177. A.P. Crane, ed., Ellis Horwood Ltd.: London, England.
- Hamid, R., Mohd Nayan, K.A., Mohd Yusof, K., Goo K.J. and Lim S.C. 2005. Effects of Rebar Size and Concrete Moisture Content on the Crack Depth Estimation Via Impact Echo and Ultrasonic Pulse Velocity Methods: A Comparison. SOUTH EAST ASIA Conference on the Advancement of Scientific and Social Research, UiTM Perlis. 14 – 15 Dec 2005. 1ST20.
- Liang, M.T. dan Su, P.J. 2001. Detection of the Corrosion Damage of Rebar in Concrete Using Impact Echo Method. *Cement and Concrete Research* 31: 1427-1436.
- Popovic, S dan Simeonov, Y. 1983. *Durability of reinforced concrete in sea water. Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction*. 20. A.P. Crane, ed., Ellis Horwood Ltd.: London, England.