

FENOMENA CINCIN PUSARAN OLEH GELEMBUNG PERONGGAAN BERHAMPIRAN SEMPADAN PEPEJAL

MD. HISAM HANAPEI, NORIAH BIDIN

Jabatan Fizik, Fakulti Sains, Universiti Teknologi Malaysia,

Skudai 81300, Johor Bahru, Johor

Tel: 607-5504096 Fax: 607-5566162

E.mail: s-noriah@utmjb.utm.my

Abstrak. Akibat dari bencana hakisan yang dijanakan oleh gelembung peronggaan, maka ahli-ahli fizik telah mengambil langkah-langkah untuk mencari punca hakisan tersebut. Salah atau punca yang telah dapat dikesan adalah kehadiran fenomena cincin pusaran dalam proses dinamik gelembung peronggaan dan sering dihubungkan dengan kesan kerosakan bentuk annular. Kertas kerja ini dijalankan bertujuan untuk membuat kajian yang lebih mendalam dan terperinci mengenai kewujudan kewujudan cincin pusaran. Teknik pemfokusan laser dan teknik fotografi kelajuan tinggi telah digunakan untuk merakamkan proses dinamik cincin pusaran. Di dapati fenomena ini telah mula dikesan dari peringkat penguncupan pertama dalam cecair bebas dan juga berhampiran permukaan sempadan. Kejadian ini juga didapati mudah dikesan pada sempadan permukaan bebas yang berhampiran.

KATA KUNCI : peronggaan, cincin pusaran, annular, laser, penguncupan.

1 PENGENALAN

Peronggaan adalah gelembung-gelembung wap yang wujud hasil kejadian tekanan yang rendah. Ia didapati telah mendatangkan masalah teknikal kepada semua mesin hidraulik termasuk pam, impeler turbin dan kipas kapal. Antara kesan yang bahaya adalah kesan hakisan. Kebanyakan ahli-ahli fizik dan kejuruteraan telah banyak berusaha untuk menganalisa mekanisme yang menyebabkan hakisan ini. Dalam bidang kejuruteraan, kajian dijalankan berdasarkan kesan hakisan iaitu kehilangan berat jisim dan dari segi reka bentuk sisitem. Sementara itu kajian yang dijalankan ini berupa kajian asas yang mana lebih menerangkan sifat-sifat dinamik gelembung peronggaan dan beberapa mekanisme yang berhubung kait dengan hakisan telah dikaji.

Antara mekanisme yang telah dikesan adalah cincin pusaran. Benjamin dan Ellis [5] telah menemui fenomena pembentukan jet dan menyarankan bahawa cincin pusaran disebabkan penguncupan gelembung yang tidak simetri. Apabila aliran jet menyentuh dinding yang bertentangan maka gelembung akan berubah bentuk kepada bentuk torus. Menurut Zhang, Duncan dan Chahine [3] pembentukan cincin pusaran ini adalah akibat dari aliran jet yang terganggu disebabkan kehadiran sempadan pepejal yang berhampiran dan pembentukan menjadi semakin ketara pada jarak pisah yang kecil. Cincin pusaran ini berlaku di bahagian bawah gelembung torus asal dan bersentuhan dengan permukaan sempadan pepejal.

Chahine dan Genoux [3], mendapati cincin pusaran ini adalah satu fenomena yang dinamik dan turut mengalami penguncupan yang sama seperti dinamik gelembung sperikal. Mereka mencadangkan bahawa keupayaan penguncupan cincin pusaran dalam menjana kerosakan adalah tinggi berbanding penguncupan gelembung sperikal.

Seterusnya bentuk kerosakan annular yang disebabkan oleh gelembung peronggaan yang telah dikaji oleh Shutler & Mesler(1965) mencadangkan kerosakan adalah disebabkan oleh gelombang

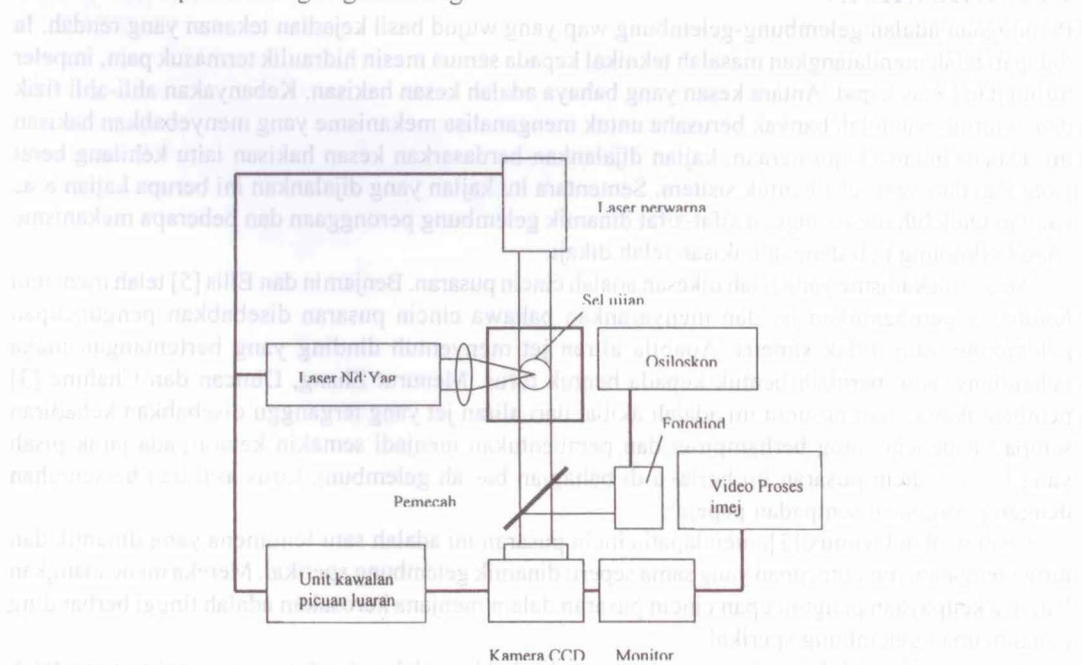
kejutan akibat dari kaedah percikan elektrik yang digunakan. Tomita dan Shima [1] telah memberikan hasil kajian yang begitu terperinci tentang kerosakan bentuk annular. Beliau telah menyatakan bahawa cincin pusaran yang terdiri dari sekumpulan rongga sekunder yang berputar di akhir hayat penguncupan dan menyerapkan tenaganya dalam bentuk kerosakan bentuk annular.

Cincin pusaran ini juga telah dikesan pada fasa penguncupan kedua oleh Lauterborn [2]. Philipp et. al. [6] telah melaporkan bahawa cincin pusaran adalah akibat dari susutan gelembung peronggaan dalam bentuk toroidal kepada gelembung-gelembung mikro yang akhirnya menguncup secara individu dan menyebabkan kerosakan bentuk annular yang terdiri daripada tompokan-tompokan kecil.

Walaupun telah banyak kajian-kajian yang dijalankan untuk memahami konsep kewujudan cincin pusaran yang turut mengakis permukaan dalam bentuk bulatan, namun kefahaman yang sebenarnya dan akibat yang menghasilkan masih belum dijelaskan sepenuhnya. Sebagai langkah untuk menjelaskan keaburan dalam fenomena cincin pusaran ini, maka kami menjalankan kajian mengenai kewujudan cincin pusaran secara lebih terperinci dengan menggunakan teknik fotografi kelajuan tinggi.

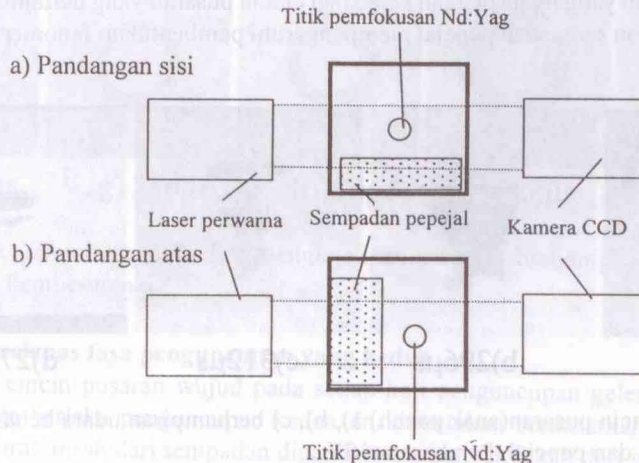
2 KAEDAH DAN SUSUNAN PERALATAN

Kaedah pemfokusan laser telah digunakan untuk menghasilkan gelembung tiruan tunggal pada satu kawasan dengan bantuan unit kawalan picuan luaran. Dalam hal ini laser Nd:Yag suis-Q dengan dengan purata tenaga keluarannya i 80mJ per denyut dan panjang gelombang 1.064 mikron dengan lebar denyut 8ns. Rajah 1 menunjukkan penyusunan peralatan bagi kajian ini. Laser berwarna Coumarin 500 yang menghasilkan keluaran laser warna hijau dengan panjang gelombang 500nm digunakan sebagai sumber cahaya untuk tujuan penyinaran semasa rakaman imej dilakukan. Unit kawalan picuan luaran adalah bertanggungjawab dalam meyelaraskan masa tundaan antara Nd:Yag dan laser berwarna. Masa tundaan antara laser berwarna dan laser Nd:Yag dirakamkan oleh osiloskop HP54522A. Kamera video ccd yang diantaramuka dengan sistem memproses imej digunakan bagi rakaman osilasi perkembangan gelembung.



Rajah 1 Rajah skematik set eksperimen.

Kaedah bayangan dipilih untuk kajian ini kerana ianya mudah, ringkas dan sesuai berbanding dengan kaedah yang lain. Cecair yang digunakan dalam kajian ini ialah air suling. Bungkah perspeks digunakan sebagai sempadan pepejal. Susunan bahan kajian adalah seperti ditunjukkan dalam rajah 2. Dua pemerhatian telah dilakukan melalui pandangan tepi dengan meletakkan bahan selari dengan sinar laser Nd:Yag. Pandangan atas di buat dengan meletakkan bahan lutsinar dibelakang titik pemfokusan laser Nd:Yag.



Rajah 2 Kedudukan sampel dalam sel kajian bagi dua kaedah pemerhatian.

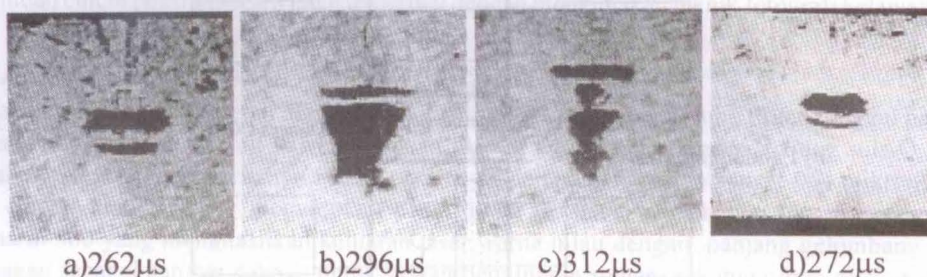
3 HASIL KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Fenomena cincin pusaran diperhatikan dari pandangan tepi di antaramuka udara-air yang bersesuaian dengan syarat yang biasa dipakai dalam kaedah numerikal. Jarak kewujudan gelembung disetkan pada jarak 1.0mm dari permukaan bebas. Pemerhatian lebih difokuskan pada tahap sebelum penguncupan gelembung yang pertama. Keputusan pemerhatian itu ditunjukkan dalam gambarajah 3. Garis bar seperti yang ditunjukkan oleh anak panah pada keempat-empat foto. Rajah 3a, menunjukkan cincin pusaran berada pada bahagian bawah mampatan gelembung yang minima (bar hitam bahagian atas foto adalah sempadan udara bebas). Apabila masa tundaan ditambah (196(s), pantulan gelembung berada dalam keadaan memanjang. Sementara cincin pusaran yang diindikasikan sebagai garis bar berada di atas. Ini adalah disebabkan oleh perkembangan dinamik gelembung pantulan (yang mengandungi gas yang terperangkap) adalah lebih pantas berbanding perkembangan dinamik cincin pusaran. Saiz garisan bar cincin pusaran pada tahap ini didapati sebagai 1.5mm berbanding dengan saiz pada tahap 262(s) hanya mempunyai saiz 1.0mm. Ini menunjukkan bahawa cincin pusaran adalah satu proses yang dinamik, ia turut mengembang walaupun dengan kadar yang lebih kurang dari perkembangan semula gelembung pantulan berdasarkan kadar perubahan saiznya.

Apabila diperhatikan pada tempoh masa 312(s), iaitu selepas berlaku penguncupan sfera yang kedua, saiz cincin pusaran adalah 1.3mm. Walaupun saiznya berkurangan tetapi bentuk bertambah stabil, garisan bar didapati sekata dan mendatar berbanding dua keadaan sebelumnya (rajah 3a dan 3b). Cincin pusaran masih berada dibahagian atas gelembung pantulan. Berbeza halnya dengan keadaan pantulan gelembung yang terdiri daripada deretan tiga pantulan gelembung yang kecil.

Keadaan yang unik ini mungkin disebabkan penguncupan gelembung yang tidak simetri menyebabkan ia muncul dalam keadaan berbilang-bilang.

Akhirnya pemerhatian ditumpukan pada keadaan yang berbeza dari tiga keadaan yang pertama. Kajian dibuat dengan memerhatikan kesan kehadiran sempadan pepejal perspeks yang diletakan 3.0mm dari permukaan air. Garisan bar hitam di bahagian atas adalah antaramuka udara-air dan garisan bar di bahagian bawah adalah antaramuka air-pepejal. Laser difokuskan pada jarak 2.0mm dari sempadan pepejal dan 1.0mm dari sempadan udara bebas. Contoh hasil kajian ini ditunjukkan dalam rajah 3d yang diambil pada masa 272(s iaitu masa penguncupan pertama bagi gelembung yang mempunyai jejari maksima 1.5mm. Jika dibuat perbandingan antara rajah 3a dan 3d sudah pasti terdapat perbezaan yang nyata dengan ketebalan cincin pusaran yang bertambah nipis. Jelaslah di sini bahawa kehadiran sempadan pepejal mempengaruhi pembentukan fenomena cincin pusaran.



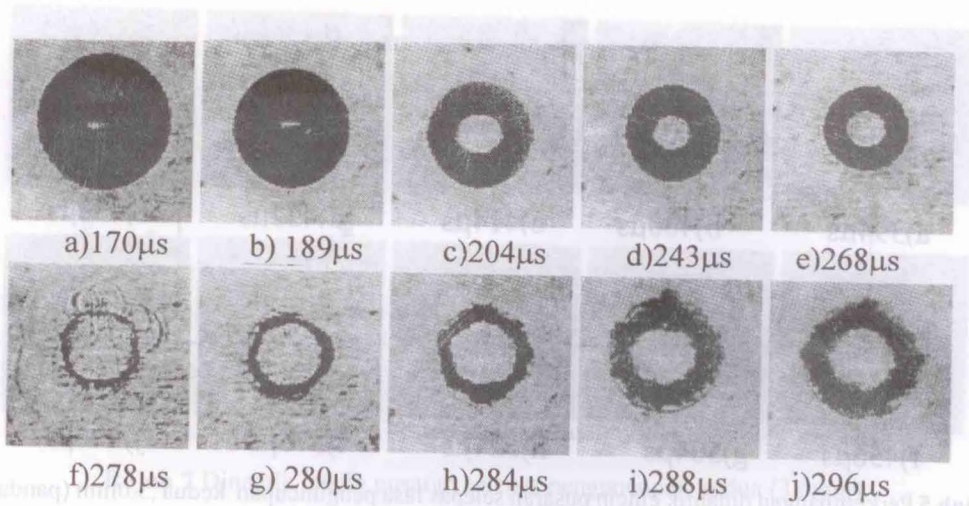
Rajah 3 Fenomena cincin pusaran(anak panah) a), b), c) berhampiran udara bebas. d) diantara dua sempadan udara bebas dan pepejal. Pembesaran 6X.

3.1 Pembentukan cincin pusaran pada fasa penguncupan yang pertama

Oleh kerana ada kesan yang dimainkan oleh sempadan pepejal, kajian dilanjutkan dengan memerhatikan pembentukan cincin pusaran sebelum penguncupan gelembung sfera yang pertama. Pemerhatian telah dibuat dari pandangan atas dan gelembung diwujudkan jauh dari pengaruh permukaan udara.

Hasil kajian ini ditunjukkan dalam rajah 4. Rajah 4a menunjukkan gelembung peronggaan sfera ketika mencapai nilai jejari maksima iaitu lebih kurang 1.5mm. Bentuknya tidak berbeza jika dilihat dari pandangan sisi di mana keseluruhan gelembung didapati gelap. Garis putih pada tengah gelembung menunjukkan plasma luminesen yang menjadi tanda pusat gelembung. Pemerhatian diteruskan pada tahap pengecutan. Saiz gelembung sfera bertambah kecil tapi ruangnya masih dipenuhi dengan gas(rajah 4b) menyebabkan ia dipandang gelap.

Latar belakang setiap foto adalah sempadan perspeks yang lutsinar. Maka pada tahap 204µs(rajah 4c), gelembung bertukar bentuk kepada toroidal yang simetri. Jejari sebelah luar adalah 1.2mm dan jejari sebelah dalamnya 0.5mm. Bentuk toroidal ini akan bertambah kecil apabila masa tundaan ditingkatkan, namun jejari bahagian dalam hampir sama. Bentuk toroidal ini akan bertukar secara mendadak sebaik sahaja berlaku penguncupan pertama(berdasarkan masa tundaan yang diambil). Bentuk yang diperhatikan ini adalah bentuk cincin yang dikenali sebagai cincin pusaran dengan diameter 1.6mm. Purata ketebalan cincin adalah 0.2mm. Bila masa tundaan dilanjutkan dalam tempoh tundaan yang lama cincin akan membentuk toroidal semula, tetapi diameter sebelah dalam semakin membesar dan hampir tetap dengan nilai 1.4mm, siri rajah 4. Sementara diameter sebelah luar terus membesar tetapi dalam bentuk yang tidak sekata. Kemungkinan perkembangan toroidal ini diiringi oleh gelembung-gelembung mikro yang wujud. Hasil dari proses penguncupan yang pertama.



Rajah 4 Dinamik gelembung bagi fasa penguncupan pertama berhampiran sempadan, 1.5mm (Pandangan atas). Pembesaran 6X.

3.2 Pemerhatian selepas fasa penguncupan yang kedua

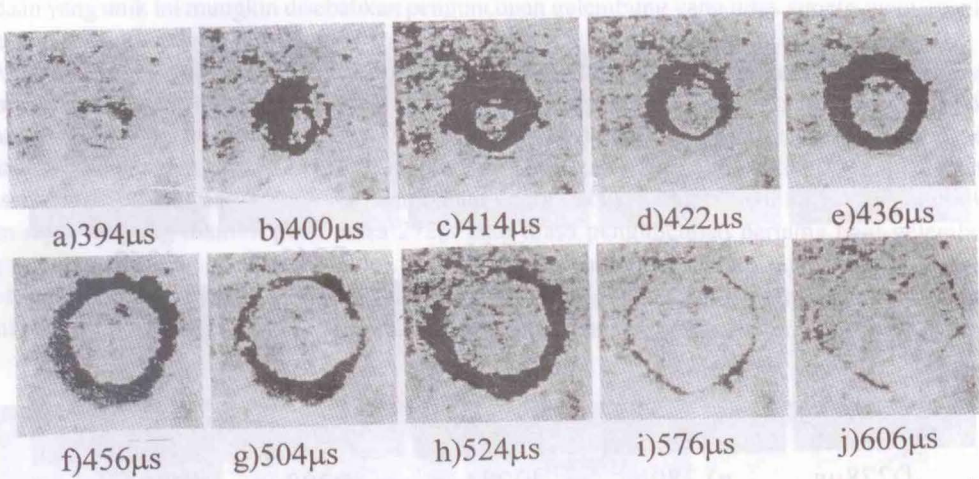
Bagi memastikan cincin pusaran wujud pada setiap kali penguncupan gelembung maka kajian diteruskan sehingga berlaku penguncupan kedua. Ini ditentukan berdasarkan masa tundaan yang diperhatikan dan jarak pisah dari sempadan digandakan sebanyak 2 kali dari jarak pertama.

Hasil keputusan dari pemerhatian ini ditunjukkan dalam rajah 5. Rajah 5a menunjukkan torus pantulan pertama berada pada keadaan minima, sebelum berlaku penguncupan kedua. Ini menunjukkan toroidal tadi juga mengalami proses pengecutan kali kedua. Keadaan yang berbeza dari perkembangan pertama, dengan toroidal hampir sama atau tetap. Sebaliknya pada masa yang meningkat, keadaan menjadi tidak menentu. Pembentukan cincin mungkin telah bercampur baur. Ada kemungkinan terjadi dua cincin yang berlainan pusat disertai dengan gelembung torus yang sedang mengembang (rajah 5b). Kewujudan dua cincin ini menjadi jelas pada rajah 5c dan 5d. Foto berikutnya menunjukkan cincin menjadi toroidal dengan diameter sebelah dalam bertambah besar iaitu 1.7mm dan diameter sebelah luar adalah 2.5mm. Bentuk toroidal ini lebih besar dari tahap penguncupan pertama mahu pun tahap perkembangan gelembung pantulan. Toroidal ini bukan sahaja lebih besar malah bentuk geometrinya lebih mantap (rajah 5 f).

Bila diperhatikan pada masa tundaan yang lebih lanjut, toroidal akan terus membesar dengan diameter dalamnya 2.0mm dengan ketebalan toroidal yang tidak sekata. Tebal di bahagian bawah (0.5mm) dan nipis di bahagian atas (0.1mm). Ketebalan toroid semakin meningkat pada rajah 5h, pada masa tundaan 524(s). Pada masa yang seterusnya toroidal menjadi semakin nipis, sehingga seolah-olah ia terdiri daripada kumpulan gelembung mikro yang tersusun membentuk cincin yang tidak simetri. Diameter keseluruhan cincin itu menjadi semakin besar sehingga mencapai 2.5mm, rajah 6f. Keadaan gelembung mikro ini semakin pupus, hanya terdiri dari lingkaran yang terputus-putus bila gelembung menghampiri masa hayat.

3.3 Perbincangan

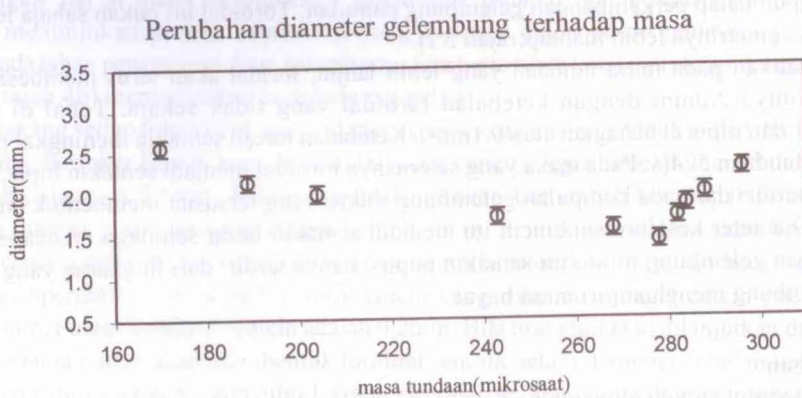
Sukar untuk menentukan kewujudan cincin pusaran apabila dilihat dari pandangan atas. Ini akibat daripada pembentukan toroidal dari sejak proses pengecutan yang pertama. Berdasarkan dari teori yang dinyatakan oleh Benjamin dan juga Zhang, boleh diambil kesimpulan bahawa selepas proses



Rajah 5 Perkembangan dinamik cincin pusran selepas fasa penguncupan kedua, 3.0mm (pandangan atas). Pembesaran 6.7X.

penguncupan pertama (selepas 278µs), maka cincin yang dilihat adalah merupakan cincin pusran. Dari kajian ini, boleh dikatakan rajah 4g dan 4h adalah merupakan cincin pusran. Selepas dari tempoh itu, cincin sudah berlaku pertindihan dengan perkembangan gelembung pantulan toroidal. Cincin pusran semakin jelas dan besar selepas fasa penguncupan kedua(400µs). Pada peringkat ini cincin pusran ini mudah diikuti dan perkembangan mengambil masa yang lama. Ini mungkin berikutan jarak pisah antara pusat gelembung dan sempadan pepejal adalah berjauhan. Jadi tempoh untuk berlakunya boleh mengambil masa yang lebih lama.

Hasil diameter sebelah luar sebelum dan selepas penguncupan pertama diplotkan dalam rajah 6. Lengkungan itu menunjukkan kadar pengecutan adalah lebih landai berbanding kadar pengembangan semula cincin pusran yang lebih mendadak selepas penguncupan. Pembentukan cincin pusran selepas fasa penguncupan kedua ditunjukkan pada rajah 7. Pembentukan cincin pada mulanya adalah berkadar linear dan diikuti dengan keadaan yang sekata sebelum ia meresap kembali ke dalam air.



Rajah 6 Pengembangan dan pengecutan diameter luar ketika penguncupan pertama (1.5mm).



Rajah 7 Dinamik cincin pusaran selepas penguncupan kedua (3.0mm).

4 KESIMPULAN

Fenomena cincin pusaran boleh terjadi dengan kehadiran atau tanpa kehadiran sempadan pepejal. Peringkat permulaan cincin pusaran terjadi di bawah pemampatan gelembung. Dalam proses perkembangan dinamik gelembung pantulan, di dapati ia berkembang dengan kadar yang pantas berbanding dengan cincin pusaran. Keadaan ini menyebabkan kedudukan cincin yang berada di atas gelembung pantulan.

Kehadiran sempadan pepejal memberikan kesan terhadap pembentukan cincin pusaran. Bila gelembung berada jauh dari permukaan air, terdapat dua peringkat pembentukan cincin pusaran. Bila jarak pisah 1.5mm, cincin pusaran hanya diperhatikan wujud selepas penguncupan pertama. Bila jarak semakin jauh pembentukan cincin pusaran ini didapati wujud selepas penguncupan yang kedua. Jangka hayat cincin pusaran ini bertahan lebih lama, sehingga mencapai diameter yang sekata, sebelum meresap semula ke dalam air.

5 PENGHARGAAN

Setinggi-tinggi terima kasih kami ucapkan pada pihak pusat Pengajian Siswazah dan Unit Penyelidikan dan Pembangunan UTM dalam sumbangan dan kerjasama yang diberikan dalam pelaksanaan projek ini.

RUJUKAN

- [1] Tomita, Y. Shima, A. Mechanisms of impulsive pressure generation and damage pit formation by bubbles collapse. *J.Fluid Mechanics*, 169, pp 535-564, 1986.
- [2] Lauteborn, W. Cavitation bubble dynamics-new tools for intricated problem. *J. App. Sci. Res.*, 38, pp 165-178, 1982.
- [3] Chahine, G.L. Genoux, Ph.F. Collapse of cavitating vortex- ring. *J.of Eng.*, pp 400-405, 1983.
- [4] Zhang, S. Duncan, J.H. Chahine, G.L. The final stage of the collapse of a cavitation bubbles near a rigid wall. *J.Fluid Mechanics*, 257, pp 147-181, 1993.
- [5] Benjamin, T.B. Ellis, A.T. The collapse of cavitation bubbles and the pressures thereby solid boundaries. *Phil. Trans.Roy.Soc.Lond. ser(a)*260, pp 221-240, 1966.
- [6] Philipp, A. Ohl, C.D. Lauterborn, W. Single bubble erosion on a solid surface, I.S. on cav.CAV'95, France, 1995.