

KEROSAKAN YANG DIJANA OLEH LASER-PERONGGAAN KE ATAS PERMUKAAN LOGAM LEMBUT

NORIAH BIDIN

Jabatan Fizik, Fakulti Sains
Universiti Teknologi Malaysia
Karung Berkunci 791
80990 Johor Bahru, Johor
Malaysia

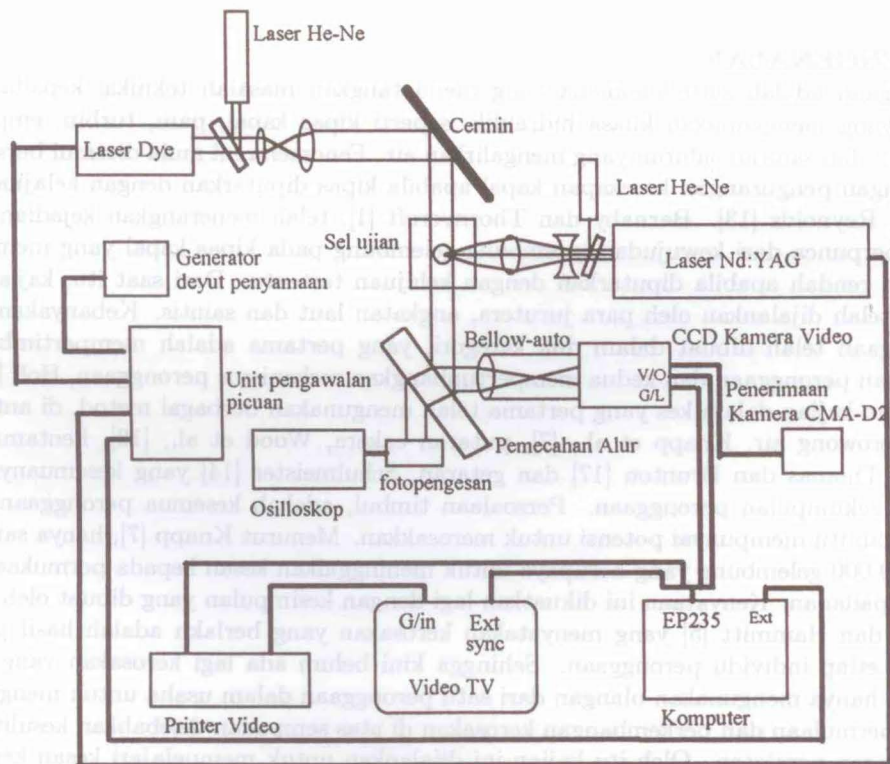
Abstrak. Laser teknologi telah digunakan dalam mengkaji kesan kerosakan hasil dari hentaman peronggaan. Keputusan dibandingkan dengan teknik yang lain dan menunjukkan hasil yang setanding. Dalam hal ini peronggaan telah diwujudkan oleh denyutan laser yang berlaku dalam ruang dan masa yang setempat. Reproduksi peronggaan membolehkan pengamatan kerosakan dikaji dari peringkat awal hingga ke tahap perkembangannya berdasarkan pada satu kawasan kerosakan yang sama. Proses hakisan sentiasa diperhatikan melalui sistem penggambaran video dan hasil yang diperoleh dianalisis melalui fotomikroskopik.

1.0 PENGENALAN

Peronggaan adalah satu fenomena yang menandatangani masalah teknikal kepada semua mesin yang menggunakan kuasa hidraulik, seperti kipas kapal, pam, turbin, empangan, dermaga dan saluran-saluran yang mengalirkan air. Fenomena ini mula ditemui bersangkutan dengan pengurangan kecekapan kapal apabila kipas diputar dengan kelajuan yang pantas, Reynolds [13]. Barnaby dan Thornycroft [1], telah menerangkan kejadian ini sebagai berpunca dari kewujudan gelembung-gelembung pada kipas kapal yang mempunyai tekanan rendah apabila diputar dengan kelajuan tertentu. Dari saat itu, kajian demi kajian telah dijalankan oleh para jurutera, angkatan laut dan saintis. Kebanyakan kajian peronggaan telah dibuat dalam dua kategori, yang pertama adalah mempertimbangkan kerosakan peronggaan dan kedua mempertimbangkan mekanisme peronggaan, Holl [6]. Kebanyakan kajian dalam kes yang pertama telah menggunakan berbagai metod, di antaranya ialah terowong air, Knapp et al., [7], putaran cakera, Wood et al., [19], hentaman dari jet-air, Thomas dan Brunton [17] dan getaran, Schulmeister [14] yang kesemuanya melibatkan sekumpulan peronggaan. Persoalan timbul, adakah kesemua peronggaan dalam kumpulan itu mempunyai potensi untuk merosakkan. Menurut Knapp [7], hanya satu daripada 30 000 gelembung yang berupaya untuk meninggalkan kesan kepada permukaan yang bersempadan. Kenyataan ini dikuatkan lagi dengan kesimpulan yang dibuat oleh Knapp [8], [9] dan Hammitt [5] yang menyatakan kerosakan yang berlaku adalah hasil penguncupan setiap individu peronggaan. Sehingga kini belum ada lagi kerosakan yang dibuat dengan hanya menggunakan ulangan dari satu peronggaan dalam usaha untuk menganalisis tahap permulaan dan perkembangan kerosakan di atas sempadan disebabkan kesulitan dan kekurangan peralatan. Oleh itu kajian ini dijalankan untuk mempelajari kesan kerosakan yang dijanakan dari ulangan satu peronggaan pada titik yang sama. Ini dijalankan dengan menggunakan teknologi canggih di mana laser telah digunakan untuk menjana peronggaan.

2.0 EKSPERIMEN

Laser Nd:YAG dipicu pada mod luaran bagi memperoleh satu peronggaan. Laser yang bertenaga 180 mJ dan mempunyai tempoh denyut 8 ns dicapahkan dengan kanta cekung yang berjarak fokus -25 mm dan ditumpukan semula dengan menggunakan kanta kamera berjarak fokus 28 mm. Ini bertujuan untuk mengurangkan peronggaan yang banyak akibat dari kewujudan runtunan yang berganda. Air suling digunakan sebagai media dalam bekas ujian dan aktiviti peronggaan disinarkan melalui pancaran kilat dari laser pewarna koumarin dengan panjang gelombang 500 nm dan bertempoh denyut 300 ps yang cukup pendek sesuai dengan kepantasan peristiwa pengucupan peronggaan. Bahan ujian yang terdiri dari logam lembut aluminium tulen digunakan sebagai sempadan pepejal. Kedudukan pepejal ini diperhatikan melalui kamera video yang dirangkaikan dengan proses imej dalam komputer peribadi dan ditayangkan melalui kaca TV. Tandaan dibuat pada layar kaca TV supaya kedudukan yang sama dapat ditentukan semula setelah bahan ujian dikeluarkan bagi tujuan pemeriksaan di bawah mikroskop dan pengukuran kehilangan jisim. Proses ujian dijalankan bagi setiap selang masa selama satu jam bagi mengikuti perkembangan kerosakan. Keseluruhan susunan eksperimen ditunjukkan dalam Rajah 1.



Rajah 1 Skema susunan eksperimen

3.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

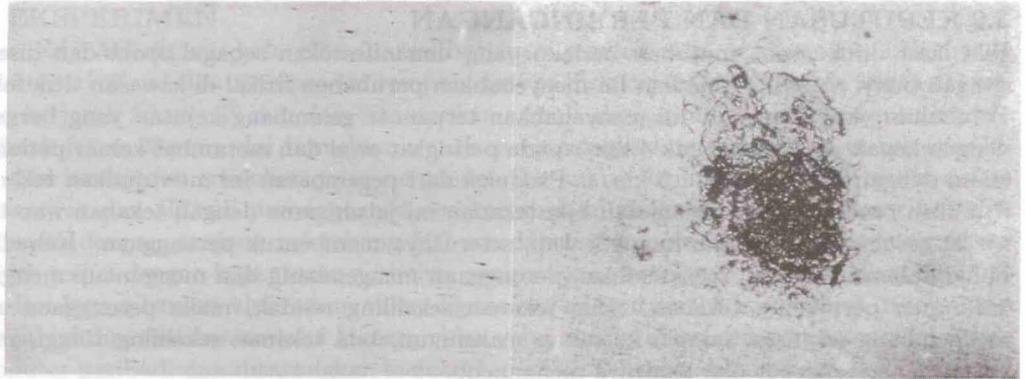
Bila laser difokuskan, runtuh berlaku yang dimanifestasikan sebagai *spark* dan disertai dengan bunyi meletik. Kejadian ini menyebabkan perubahan fizikal di kawasan titik fokus. Perubahan yang mengejut ini menyebabkan terpancar gelombang kejutan yang bergerak dengan kepantasan hipersonik 4 km/s pada peringkat awal dan merambat keluar perlahan-lahan dengan halaju sonik 1.5 km/s. Produksi dari perambatan ini mewujudkan tekanannya akan rendah di titik fokus dan bila tekanan ini jatuh sama dengan tekanan wap tepu maka, cecair akan berubah menjadi wap, seterusnya membentuk peronggaan. Kehadiran bunyi dalam medan ini menyebabkan peronggaan mengembang dan menguncup mengikut kecerunan perubahan tekanan. Bila tekanan sekeliling rendah, maka peronggaan akan mengembang sehingga sampai ke tahap maksimum, bila tekanan sekeliling tinggi, maka peronggaan mengecut dan akhirnya menguncup.

Ketika menguncup, keadaan yang serupa dengan kejadian runtuh laser wujud, di mana suhu dan tekanan di kawasan tersebut menjadi tinggi disebabkan oleh mampatan gas ketika peronggaan mengecut ke isi padu yang minimum. Pijaran dari gas ini menyebabkan terpancarnya cahaya yang dikenali sebagai sonoluminesen yang disertai dengan penjanaan gelombang kejutan kedua, Kutruff [11]. Pancaran sinaran ini melambangkan bahaya aktiviti kimia, Crum [2].

Kewujudan gelombang kejutan yang kedua pada kedudukan yang lebih hampir kepada sempadan permukaan dipercayai menyebabkan kerosakan, Fujikawa dan Akamatsu [3]. Selepas penguncupan peronggaan tidak lagi berbentuk sfera seperti yang sebelumnya malah mengubah kepada bentuk jet seperti yang terdapat dalam terbitan lain, Noriah et al. [12]. Menurut Shutler dan Mesler [15], jet ini lebih bertenaga berbanding dengan peronggaan sfera, kerana ia bergerak dengan kelajuan yang tinggi. Impuls jet ini kepada sempadan mewujudkan tekanan yang dikenali sebagai penukul-air. Perubahan fizikal yang berlaku ketika menguncup dipercayai menjadi punca menyebabkan kerosakan. Ulangan dari mekanisme-mekanisme ini memberikan daya-tekanan yang dapat melemahkan sebarang permukaan yang bertentangan. Oleh kerana proses ini berulang-ulang dan tertumpu setempat, tidak memerlukan tekanan yang tinggi untuk mengalihkan molekul pepejal dari kekisi dan akhirnya wujud kerosakan yang diikuti dengan kehilangan berat.

Rajah 2 menunjukkan makrostruktur kerosakan aluminium tulen selepas didedahkan pada berbagai masa kepada proses peronggaan. Foto *a* menunjukkan keadaan sebelum ujian. Ini bertujuan untuk membandingkan dengan sampel setelah diuji. Foto *b*, kesan yang diperolehi selepas didedahkan kepada proses peronggaan selama dua jam. Kerosakan kelihatan bertaburan sedikit, ini kemungkinan disebabkan oleh salah meletak tempat ujian yang sama ketika eksperimen dijalankan atau turun-naik sumber rongga yang digunakan. Pada foto-foto berikutnya *c* hingga *d*, didapati luas kawasan kerosakan bertambah besar mengikut pertambahan masa pendedahan terhadap peronggaan. Begitu juga dengan jumlah kehilangan jisim yang berlaku semakin banyak setelah tempoh pengeramannya diatasi. Ilustrasi kejadian ini ditunjukkan dalam Rajah 3. Pada peringkat awal lengkungan menunjukkan kehilangan jisim berkadar dengan masa diikuti dengan pertambahan yang perlahan disebabkan kesan permukaan yang kasar. Ciri-ciri lengkungan ini menunjukkan persetujuan yang baik seperti yang dicadangkan oleh Springer [16].

Pada pembesaran $\times 50$, kerosakan kelihatan seperti kawasan yang hitam dan sukar untuk membuat interpretasi terhadap struktur yang rosak. Struktur ini menjadi nyata, setelah foto diperbesar kepada $\times 3000$, seperti yang ditunjukkan pada mikrostruktur kerosakan



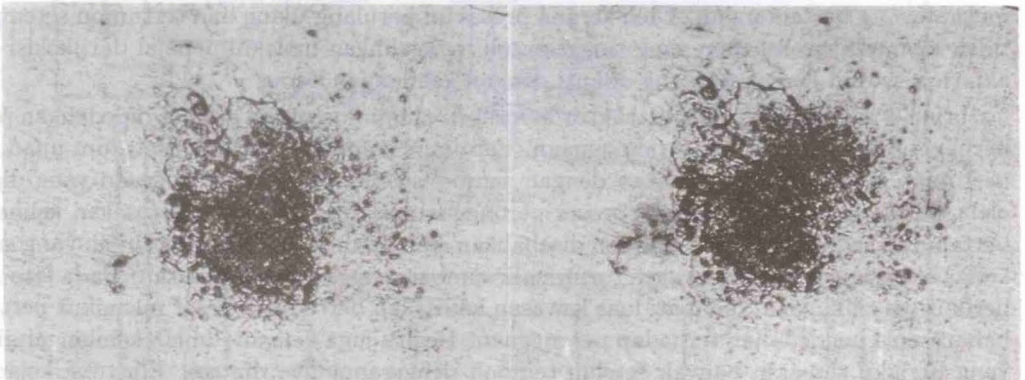
a. 0 jam

b. 2 jam



c. 3 jam

d. 4 jam

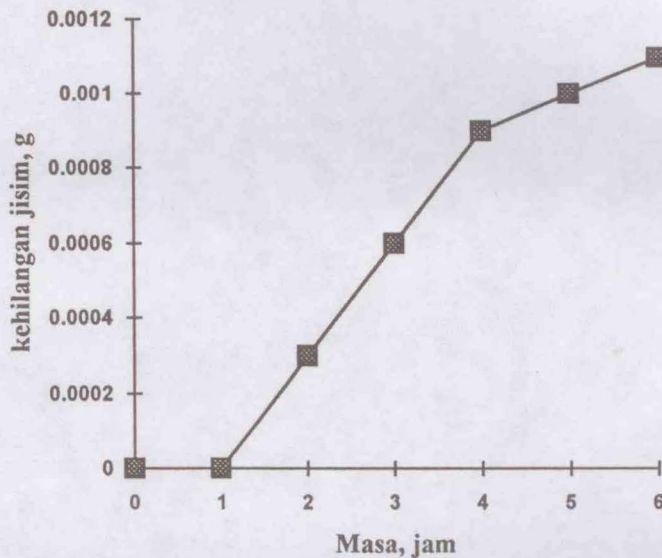


e. 5 jam

f. 6 jam

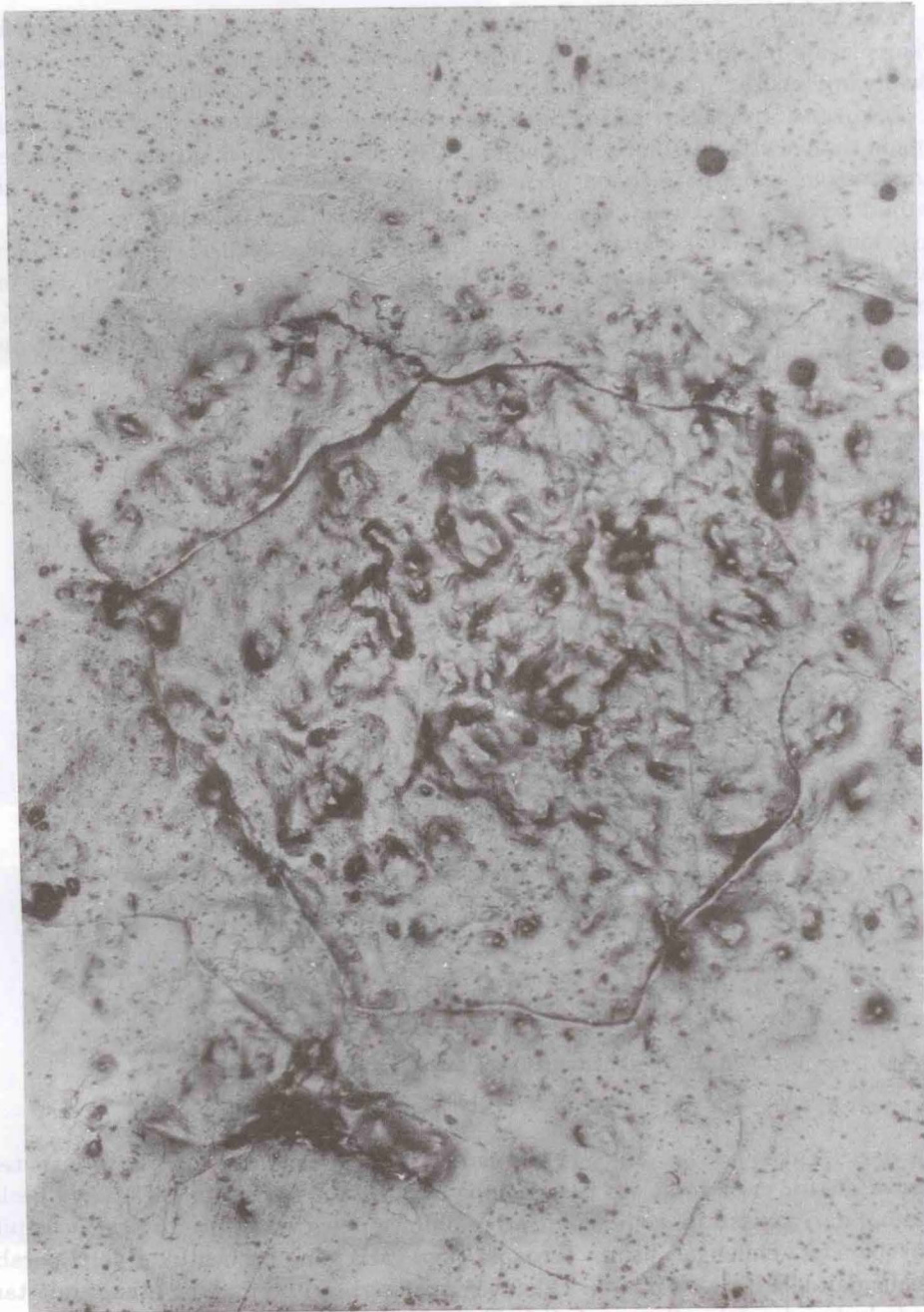
Rajah 2 Makrostruktur kerosakan di atas aluminium tulen. Pembesaran $\times 50$

dalam Rajah 4 dan 5. Kedua-dua fotomikrograf telah didedahkan kepada proses peronggaan yang masing-masing selama 2 dan 3 jam. Pendedahan yang lebih lama mengakibatkan kerosakan yang lebih teruk. Struktur kerosakan terdiri daripada taburan lekuk-lekuk yang rawak. Lekukan ini mungkin terjadi disebabkan oleh pembentukan gelembung-gelembung mikro pada sampel. Kewujudan gelembung ini disebabkan oleh penumpuan tekanan setempat yang bertindak normal kepada permukaan. Ini tidak lain kesan dari tekanan tinggi yang wujud ketika pengucupan, sama ada hasil hentaman dari tekanan yang dijana oleh kejutan gelombang atau tekanan dari jet-penukul-air. Keadaan lekukan ini menjadi bertambah banyak apabila semakin lama tertekan oleh daya ulang-alik yang terhasil dari proses pengucupan peronggaan (Rajah 5). Secara am, lekukan ini cetek dan mempunyai saiz yang berbeza-beza. Perbezaan ini timbul disebabkan taburan saiz butiran dan sifat plastik bahan yang digunakan (Kocanda [10]).

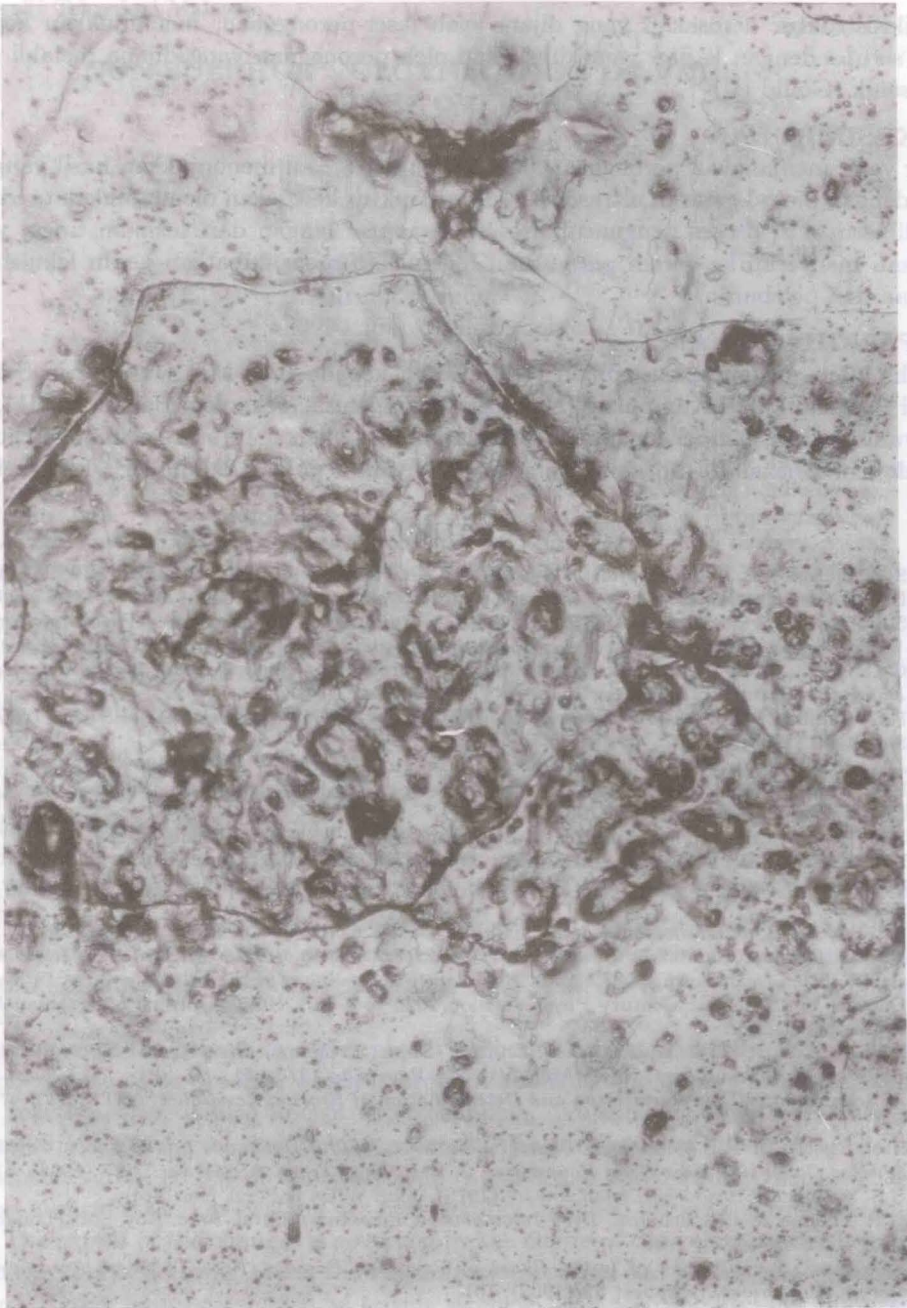


Rajah 3 Kehilangan jisim sebagai fungsi masa pendedahan terhadap peronggaan

Selain dari lekukan terdapat juga garis-garis retakan dalam struktur kerosakan tersebut. Ada di antara garis retak itu bersambung antara satu sama lain. Sekiranya berlaku percantuman dari garisan ini kemungkinan berlakunya pengoyakan dalam bentuk serpihan dan menyebabkan kehilangan jisim. Terdapat juga garis yang berbentuk seperti parabola di atas bahagian kiri Rajah 4 dan 5. Tidak terdapat seri-seri permatang atau tanda-tanda linear pada kedua-dua fotomikrograf. Sebaliknya terdapat tanda peleburan setempat atau kesan pencairan logam di atas bahagian kanan dan di bawah bahagian kiri di kedua-dua fotomikrograf tersebut. Hasil yang sama pernah diutarakan oleh Vasvari [18]. Ini adalah kesan terma yang diwujudkan oleh sonoluminesen atau cahaya yang terpancar ketika berlaku pengucupan peronggaan.



Rajah 4 Mikrostruktur kerosakan di atas aluminium tulen selepas didedahkan kepada hentaman laser-peronggaan selama dua jam. Pembedaran $\times 3000$



Rajah 5 Fotomikrograf permukaan aluminium yang teruk dilanda oleh hentaman laser-peronggaan selama 3 jam. Pembedaran $\times 3000$

Mikrostruktur kerosakan yang dijana oleh laser-peronggaan, menunjukkan keputusan yang serupa dengan kajian yang dihasilkan oleh peronggaan yang dijana melalui getaran ultrasonik (Gould [4]).

4.0 KESIMPULAN

Laser yang menjanakan peronggaan bagi kajian kerosakan menunjukkan hasil yang setanding dengan metod getaran ultrasonik. Mikrostruktur kerosakan menunjukkan tanda-tanda penglibatan dari proses penguncupan peronggaan. Ulangan dari tekanan tinggi yang dihasilkan menyerap ke dalam permukaan logam lalu mengakibatkan kesan lekukan, garis retakan dan peleburan.

5.0 PENGHARGAAN

Penulis ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada En. Mat Husain bin Saleh, Pegawai Penyelidik dari Kumpulan Teknologi Logam, Pusat Teknologi Bahan, SIRIM, kerana menyumbangkan sampel logam lembut aluminium tulen. Terima kasih juga diucapkan kepada En. Ghazali bin Ibrahim yang telah banyak menolong dalam kerja-kerja teknikal.

RUJUKAN

- [1] S.W. Barnaby & J. Thornycroft, *Torpedo Boat Destroyers*, Proc. Inst. Civ. Eng **122** (1895), 57.
- [2] L.A., *Crum Sonoluminescence Produced by Stable Cavitation*, J. Acoust., Soc. Am. **78** (1985), 137.
- [3] S. Fujikawa S. & T. Akamatsu, *Effects of the Non-equilibrium Condensation of Vapour on the Pressure Wave Produced by the Collapse of a Bubble in a Liquid*, J. Fluid. Mech. **97** (1980), 481.
- [4] G.C. Gould, *Some Observations on Erosion by Cavitation and Impingement, in Characterization and Determination of Erosion Resistance*, ASTM STP **474** (1970), 182.
- [5] F.G. Hammitt, *Observations on Cavitation Damage in a Flowing System*, J. Basic Eng. Trans. ASME Ser D. **85** (1963), 347.
- [6] J.W. Holl, *Limited Cavitation, in Cavitation State of Knowledge*, ASME (1969), 26.
- [7] R.T. Knapp, *Recent Investigation of the Mechanics of Cavitation and Cavitation Damage*, J. Basic Eng. Trans. ASME, Ser D **77** (1955), 1045.
- [8] R.T. Knapp, *Cavitation and nuclei*, J. Basic Eng. Trans. ASME, Ser D **80** (1958), 91.
- [9] R.T. Knapp, J.W. Daily & F.G. Hammitt, *Cavitation* (1970), Mc. Graw-Hill.
- [10] S. Kocanda, *Fatigue Failure of Metal* (1978), Sijthoff and Noordhoff International, Warsaw, Poland, 282.
- [11] H. Kuttruff, *Sonoluminescence and Cavitation Bubble Collapse*, Acustica **6** (1962), 526.
- [12] Noriah Bidin dan Ramli Abu Hassan, *High Speed Photography of Laser Induced Cavitation-bubble Dynamic in the Neighbourhood of a Solid Boundary*, Proceeding of National Conference of Physics. Two Decades of UPM 21st Century Physics-Vision 2020 (6-8 July 1993), Universiti Pertanian Malaysia, Serdang, Selangor.
- [13] O. Reynolds O, *The Cause of the Racing of Screw Streamers, Investigated Theoretically and by Experimental*, Trans. Inst. Naval Arch. V14 Sci. Papers **1** (1873), 51.
- [14] R. Schulmeister, *Characterization and Determination of Erosion Resistance*, ASTM STP 474 (1970), 109.
- [15] N.D. Shutler & R.B. Mesler, *A Photographic Study of the Dynamics and Damage Capabilities of Bubbles Collapsing Near Solid Boundaries*, J. Basic Eng. Trans. ASME Ser D **87** (1965), 511.
- [16] G.S. Springer, *Erosion by Liquid Impact* (1976), John Wiley & Sons, New York.
- [17] G.P. Thomas & J.H. Brunton, *Drop Impingement Erosion of Metal*, Proc. Roy. Soc. (London) series A **314** (1970), 549.
- [18] F. Vasvari, *Investigation of Initial Phase of Cavitation Damage*, Acta Technical Academiae Scientiarum Hungaricae, Budapest **39** (1962), 101.
- [19] G.M. Wood, L. Knudsen & F.G. Hammitt, *Cavitation Damage Studies with Rotating Disk*, J. Basic Eng Trans. ASME Ser D **89** (1967), 98.