

ANALISIS INTENSITAS DAN COVERAGE PROSES SHOT PEENING TERHADAP TEGANGAN SISA DAN KEKERASAN PADUAN AL 7075 T7351

Agus Fikri¹, Rifky¹, Mohammad Yusuf Djeli¹

Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik,

Universitas Muhammadiyah Prof.DR.HAMKA, Jakarta

agus_fikri@uhamka.ac.id, rifky@uhamka.ac.id, moh_yusufd@uhamka.ac.id

Abstrak

Shot peening merupakan metode pengerjaan dingin dengan menumbukkan permukaan logam menggunakan partikel-partikel bulat yang berukuran kecil dan berkecepatan tinggi. Dengan proses shot peening dapat dikurangi inisiasi dan propagasi retak yang menyebabkan terjadinya kegagalan terhadap logam. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh intensitas dan coverage shot peening terhadap tegangan sisa dan kekerasan pada permukaan Al 7075 T7351. Penelitian dilaksanakan dengan menembakkan permukaan logam dengan intensitas 0,0062 A dan 0,0091 A, serta coverage masing-masing 100% dan 200%, kemudian dilakukan pengujian kekerasan permukaan dan tegangan sisa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa shot peening menyebabkan terjadinya perubahan tegangan sisa, yaitu 92,5021 MPa pada keadaan tanpa shot peening menjadi -111,8726 sampai -170,5675 MPa setelah dilakukan dishot peening. Selain itu kekerasan pada permukaan meningkat antara 23,4% sampai dengan 44,7%. Meningkatnya kekerasan menunjukkan bahwa terjadi pengerjaan dingin yang besar pada permukaan logam. Pengaruh pelapisan (coverage) 200% ternyata meningkatkan besarnya tegangan sisa dan kekerasan permukaan walaupun belum melampaui intensitas yang lebih besar.

Kata kunci : shot peening, intensitas, coverage, kekerasan permukaan, tegangan sisa

Abstract

Shot peening is a cold working method by striking metal surfaces using small, high-speed and round particles. Shot peening can reduce the initiation and propagation of cracks that cause metal failure. The purpose of this analysis is to determine the effect of shot peening intensity and coverage on residual stress and hardness on the surface of Al 7075 T7351. The research was carried out by firing metal surfaces with intensities of 0.0062 A and 0.0091 A, and coverage of 100% and 200%, respectively, then testing surface hardness and residual stress. The results showed that shot peening caused a residual stress change, which was 92.5021 MPa in the state without shot peening to -111.8726 to -170.5675 MPa after it was shot peening. In addition, surface hardness increased from 23.4% to 44.7%. Increased hardness indicates that there is large cold working on the metal surface. The effect of 200% coverage apparently increases the amount of residual stress and surface hardness even though it has not exceeded the greater intensity.

Keywords: shot peening, intensity, coverage, surface hardness, residual stress

1. PENDAHULUAN

Proses kegagalan atau kerusakan yang terjadi pada bagian tertentu dari struktur dimulai dengan munculnya awal retak (inisiasi), bagian ini biasanya sulit sekali dideteksi karena dipengaruhi oleh berbagai hal, diantaranya adalah karakteristik material, dan perlakuan yang mengenainya baik secara mekanis maupun kimiawi pada bagian permukaan material sehingga muncul awal retak. Kemudian setelah masa inisiasi selesai dilanjutkan dengan penjalaran retak (propagasi) yang juga dapat berlangsung secara lambat ataupun cepat tergantung dari karakteristik material dan tegangan yang telah ada dalam bagian yang sedang mengalami proses menuju kegagalan tersebut. Tegangan yang telah ada pada saat proses inisiasi dan propagasi tersebut disebut sebagai tegangan sisa (*residual stress*) yang sifatnya dapat merusak, karena mempengaruhi awal retak dan penjalaran retak.

Tegangan sisa itu sendiri dapat dibagi menjadi tegangan sisa tarik (*tensile residual stress*) dan tegangan sisa tekan (*compressive residual stress*) yang sifatnya saling bertolak belakang.

Tegangan sisa tarik sifatnya merusak, karena mempercepat timbulnya awal retak dan penjaralan retak, tegangan sisa jenis ini dapat timbul karena perlakuan mekanis dan perlakuan panas yang dialami material. Sedangkan tegangan sisa tekan sifatnya menghambat kerusakan, karena memperlambat timbulnya awal retak dan penjaralan retak, tegangan sisa ini dapat timbul karena adanya perlakuan mekanis khusus yang diterima permukaan material.

Metode yang dapat dipergunakan untuk memunculkan tegangan sisa tekan pada permukaan material adalah perlakuan permukaan *shot peening*. Dengan *shot peening* dapat menghambat kegagalan akibat *fatigue* dan korosi retak tegang (*stress corrosion cracking*) (Okido., et al., 2002). Perlakuan permukaan ini dilakukan dengan cara menembakkan permukaan suatu komponen atau struktur dengan partikel-partikel bulat yang berukuran kecil berkecepatan tinggi dan biasanya partikel-partikel tersebut terbuat dari besi tuang, baja tuang, serbuk *glass*, dan keramik. Proses penembakan oleh partikel-partikel kecil tersebut dilakukan dengan intensitas dan cakupan daerah (*coverage*) tertentu.

Dengan dilakukannya proses *shot peening* akan terjadi perubahan sifat pada permukaan material, seperti yang telah diuraikan diatas, yaitu munculnya tegangan sisa tekan, disertai dengan perubahan kekerasan pada permukaan material, yang besar masing-masingnya tergantung pada material yang digunakan, intensitas dan *coverage* dari proses *shot peening* yang dilakukan.

Proses *shot peening* banyak diaplikasikan untuk logam *ferrous* terutama baja, serta logam non *ferrous*. Untuk logam non *ferrous* material yang sering menggunakan aplikasi tersebut adalah aluminium karena dalam penggunaannya perlu dilakukan perlakuan panas (*heat treatment*) yang menyebabkan permukaannya menjadi lebih keras sehingga mudah terjadi inisiasi retak.

Material aluminium yang diberi perlakuan *shot peening* pada permukaannya dalam penelitian ini adalah paduan Al 7075 T7351, yang dalam aplikasinya digunakan secara luas pada *aircraft structural parts* dan aplikasi struktural tegangan tinggi lainnya dimana kekuatan dan ketahanan korosi yang tinggi sangat dibutuhkan.

2. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan uraian pada latar belakang diatas, maka diperlukan pendalaman tentang jenis tegangan sisa yang dihasilkan pada permukaan paduan Al 7075 T7351 setelah dikenai proses *shot peening*, serta seberapa besar pengaruh *shot peening* terhadap tegangan sisa dan kekerasan yang dihasilkan

3. TUJUAN PENELITIAN

1. Mengetahui pengaruh intensitas proses *shot peening* terhadap tegangan sisa (*residual stress*) dan kekerasan pada permukaan paduan Al 7075 T7351.
2. Mengetahui pengaruh pelapisan permukaan (*coverage*) 200% terhadap tegangan sisa dan kekerasan pada permukaan paduan Al 7075 T7351.

4. TINJAUAN PUSTAKA

4.1 Shot Peening

Shot peening adalah salah satu metode perlakuan permukaan secara mekanis yang paling efektif, umumnya diaplikasikan untuk meningkatkan ketahanan terhadap fatik (*fatigue*) (Mahmoudi., et al., 2016), dan korosi retak tegang (*stress corrosion cracking*) (Okido., et al., 2002). Permukaan logam ditembak dengan menggunakan partikel-partikel bulat yang berukuran kecil berkecepatan tinggi, partikel-partikel tersebut biasanya terbuat dari baja tuang, besi tuang, serbuk *glass*, atau keramik. Setelah dilakukan proses *shot peening* diharapkan muncul tegangan sisa tekan (*compressive residual stress*) pada permukaan material. Perlakuan permukaan ini digunakan secara luas pada *automobile*, *power generation*, dan *aerospace industries* (Torres & Voorwald, 2002).

Peningkatan ketahanan terhadap fatik dengan menggunakan *shot peening* adalah dengan munculnya tegangan sisa tekan pada lapisan permukaan (*surface layer*), yang membuat *nucleation* atau inisiasi (*initiation*) dan propagasi (*propagation*) *fatigue cracks* lebih sulit terjadi (Torres & Voorwald, 2002), demikian pula mekanismenya terjadi pula pada kegagalan akibat korosi retak tegang, dengan adanya tegangan sisa tekan setelah dilakukan proses *shot peening* akan mencegah rusaknya *oxide film* pada permukaan (Okido., et al., 2002).

Pada banyak material timbulnya tegangan sisa tekan pada permukaan material juga disertai dengan peningkatan kekerasan pada permukaan yang ditimbulkan oleh pengerjaan dingin (*cold work*) yang dialami akibat proses *shot peening* (Klotz., et al., 2018).

4.2 Coverage dan Intensitas Peening

Coverage dan intensitas yang dihasilkan oleh proses *shot peening* sangat mempengaruhi besarnya tegangan sisa tekan yang dihasilkan (Klotz, Delbergue, Bocher, Levesque, & Brochu, 2018), sehingga pada akhirnya berpengaruh terhadap ketahanan suatu komponen terhadap fatik dan korosi retak tegang.

Coverage menunjukkan seberapa besar luas permukaan benda kerja yang tertembak oleh partikel-partikel *shot*. *Coverage* 100% artinya seluruh permukaan telah tertembak dengan sempurna, tetapi dalam kenyataannya hal tersebut sulit untuk dapat diwujudkan, karenanya nilai *coverage* telah dianggap sempurna jika telah mencapai 98% dari total area yang ditembak oleh partikel *shot*. Untuk mendapatkan *coverage* lebih besar dari 100%, penembakan dilakukan dengan waktu tembak selama waktu saturasi dikalikan dengan persen *coverage* yang diinginkan, misalnya untuk mendapatkan *coverage* 200%, waktu tembaknya yaitu 2 kali waktu saturasi *coverage* 100%.

Intensitas *peening* tergantung pada kecepatan, kekerasan, ukuran, besar partikel *shot* dan sudut tembak antara partikel *shot* dengan permukaan benda kerja. Semakin besar intensitas yang diberikan maka kedalaman lapisan tegangan sisa tekan akan semakin besar. Untuk menentukan besarnya intensitas, digunakan specimen standar yang disebut *almen strip*. *Almen strip* yang belum ditembak diletakkan pada *specimen holder*, kemudian permukaannya ditembak dengan partikel *shot* dengan waktu tertentu hingga terjadi defleksi. Besarnya defleksi ini menyatakan besarnya intensitas yang terjadi.

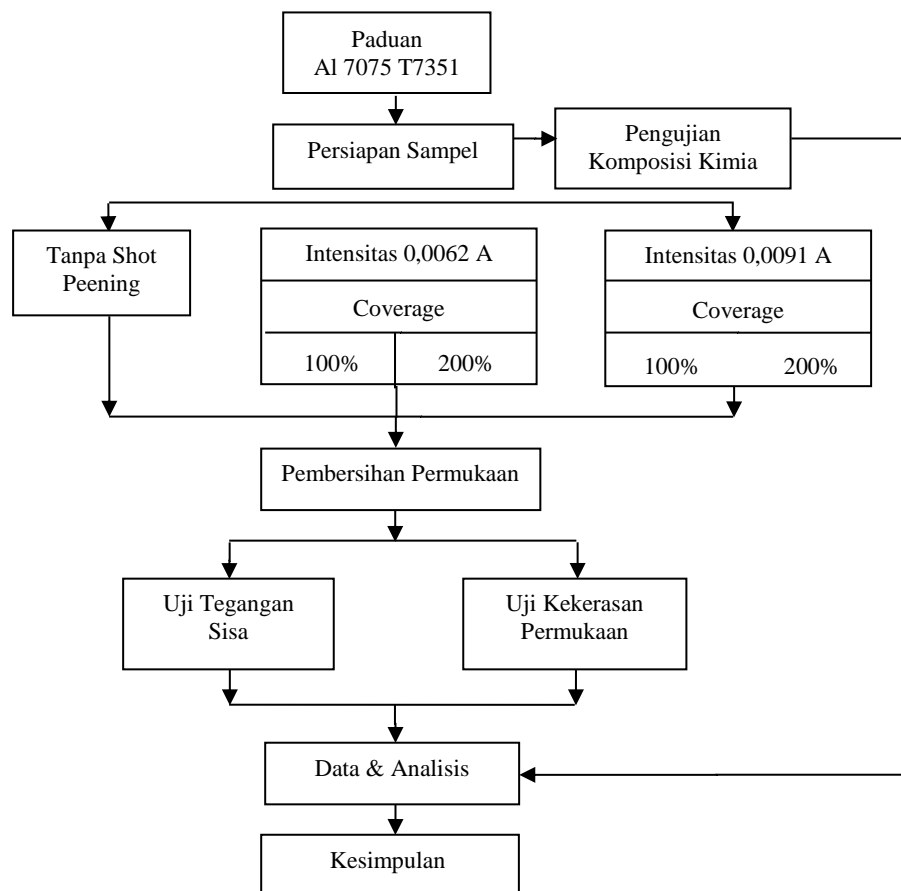
4.3 Paduan Al-Zn-Mg

Paduan Al-Zn-Mg merupakan bagian penting di dalam kelompok paduan aluminium yang dapat dilaku panaskan, yang mana paduan ini termasuk dalam seri 7XXX. Kelebihan paduan ini mempunyai kekuatan tertinggi dibandingkan paduan aluminium lainnya, selain itu paduan ini mempunyai respon terhadap perlakuan panas (pengerasan presipitasi) yang paling besar. Kerentanan paduan ini terhadap korosi retak tegang telah diminimalkan dengan penambahan kromium dan dengan proses perlakuan panas yang tepat.

Zn dan Mg merupakan elemen paduan utama didalam paduan Al-Zn-Mg, rasio Zn dan Mg yang tinggi menghasilkan kekuatan terbaik dan memberikan respon yang terbesar terhadap perlakuan panas, tetapi mempunyai kelemahan terhadap korosi retak tegang. Rasio Zn dan Mg yang rendah menghasilkan sifat mampu las dan stabilitas dimensi yang baik. Rasio Zn dan Mg juga menentukan pembentukan senyawa-senyawa seng. Jika rasionya lebih besar dari 2 maka akan terbentuk endapan (presipitat) $MgZn_2$, jika rasionya lebih kecil dari 2 maka akan terbentuk endapan $Mg_3Zn_3Al_2$ (Campbell, 2008).

5. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yaitu pra penelitian yaitu persiapan sampel, pelaksanaan penelitian dengan menembakkan permukaan dengan proses *shot peening*, pelaksanaan pengujian, dan analisis.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

6. HASIL DAN PEMBAHASAN

6.1 Komposisi Kimia dan Kekerasan

Setelah dilakukan pengujian komposisi kimia dan kekerasan baik pada permukaan maupun sampai kedalaman 1450 μm , didapat hasil seperti ditunjukkan pada tabel 1 dan tabel 2 dibawah.

Tabel 1. Hasil pengujian komposisi kimia Al 7075 T7351

Unsur	Kadar (%)	Unsur	Kadar (%)
Aluminium (Al)	89,43	Silikon (Si)	0,08
Seng (Zn)	5,75	Mangan (Mn)	0,04
Magnesium (Mg)	2,58	Krom (Cr)	0,21
Tembaga (Cu)	1,77	Titanium (Ti)	0,02
Besi (Fe)	0,12		

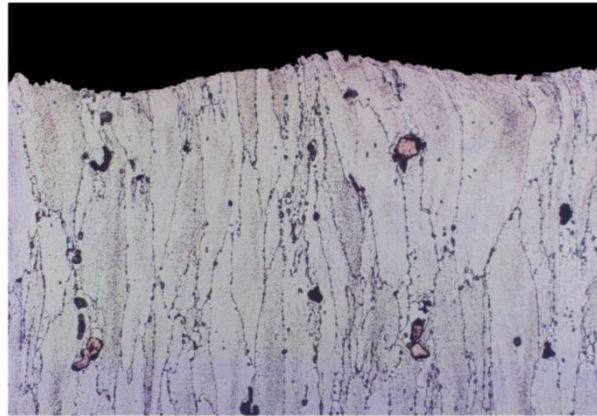
Tabel 2. Hasil pengujian kekerasan

Kondisi	Jarak Dari Permukaan (μm)	Kekerasan Tanpa Shot Peening (VHN)	Kekerasan (VHN)	
			Coverage 100%	Coverage 200%
Tanpa Shot Peening	0	125		
	50		155	158
	150		142	144
	250		125	130
	350		126	124
	450		126	126
Shot Peening Intensitas 0,0062 A	550		125	124
	650		124	123
	750		125	124
	850		122	125
	950		124	126
	1050		123	126
	1150		127	124
	1250		122	123
	1350		122	123
	1450		123	121
	50		175	182
	150		160	173
	250		136	150
	350		127	138
450		127	124	
Shot Peening Intensitas 0,0091 A	550		125	127
	650		126	125
	750		123	127
	850		125	126
	950		122	126
	1050		125	122
	1150		120	125
	1250		124	124
	1350		123	124
	1450		122	125

Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia yang dilakukan pada material, dapat diketahui bahwa Zn dan Mg merupakan paduan utama. Adanya Zn akan meningkatkan kekerasan dan respon terhadap perlakuan panas, tetapi menurunkan ketahanan terhadap korosi retak tegang (*stress corrosion cracking*, SCC), oleh karena itu diperlukan keberadaan unsur lain dalam

jumlah kecil yang dapat meningkatkan ketahanan terhadap SCC, yaitu Cr, yang besarnya menurut tabel 1 adalah 0,21%.

Rasio Zn dan Mg berdasarkan tabel 1. adalah lebih besar dari 2, maka dapat ditentukan bahwa senyawa yang terbentuk pada matriks aluminium adalah fasa $MgZn_2$, senyawa inilah yang menyebabkan terjadinya penguatan pada paduan Al 7075 T7351. Fasa $MgZn_2$ tersebut dapat dilihat pada gambar 2 dibawah, yaitu struktur mikro Al 7075 T7351, dimana fasa tersebut tersebar diseluruh bagian, baik pada batas butir maupun didalam butir.



Gambar 2. Struktur mikro Al 7075 T7351 setelah dilakukan shot peening

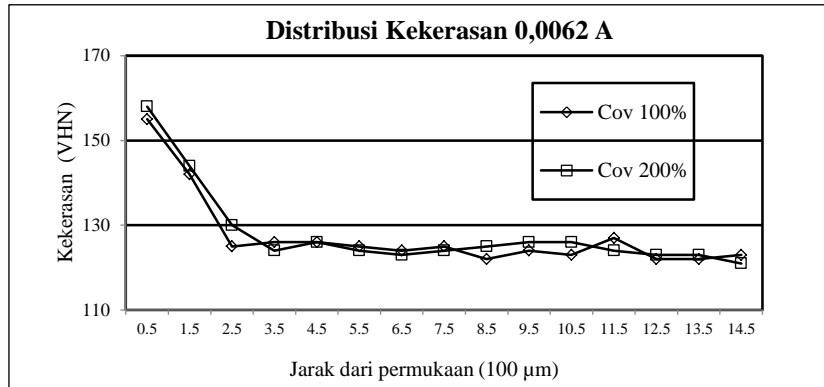
Selain unsur paduan diatas (Zn, Mg dan Cr) perlu diperhatikan keberadaan tembaga (Cu) yang dari hasil pengujian komposisi kimia adalah sebesar 1,77%. Dimana keberadaan Cu tersebut akan meningkatkan kekuatan paduan. Dalam hubungannya dengan ketahanan terhadap korosi, Cu akan menyebabkan penurunan terhadap korosi umum, tetapi akan meningkatkan ketahanan terhadap korosi SCC.

6.2 Kekerasan Hasil Shot Peening 0,0062 A

Seperti yang dinyatakan dalam tabel 2 diatas, kekerasan material yang tidak dilakukan proses *shot peening* adalah 125 VHN. Setelah di *shot peening* dengan intensitas 0,0062 A, maka kekerasan pada bagian permukaan (50 μm dari permukaan) meningkat menjadi 155 dan 158 VHN, pada *coverage* 100% dan 200%. Peningkatan nilai kekerasan tersebut setelah di *shot peening* menandakan bahwa permukaan material mengalami pengerjaan dingin (*cold working*) akibat tumbukan dari partikel *shot*.

Meningkatnya kekerasan pada permukaan material hasil *shot peening* tersebut dapat dijelaskan dengan mekanisme pengerasan regang (*strain hardening*), dengan adanya tumbukan partikel *shot* pada permukaan material, maka akan terjadi deformasi yang menyebabkan peningkatan jumlah dislokasi, sehingga interaksi antar dislokasi akan meningkat dan membentuk penghalang terhadap pergerakan dislokasi lainnya, akibatnya diperlukan energi yang lebih besar bila dilakukan deformasi lebih lanjut. Sehingga ketahanan terhadap deformasi meningkat yang ditunjukkan dengan peningkatan kekerasan.

Kekerasan material yang di *shot peening* baik dengan *coverage* 100% maupun 200% berangsur-angsur turun sejalan semakin jauh dari permukaan, seperti dapat dilihat pada gambar 3 dibawah.



Gambar 3. Distribusi kekerasan setelah di shot peening 0.0062 A

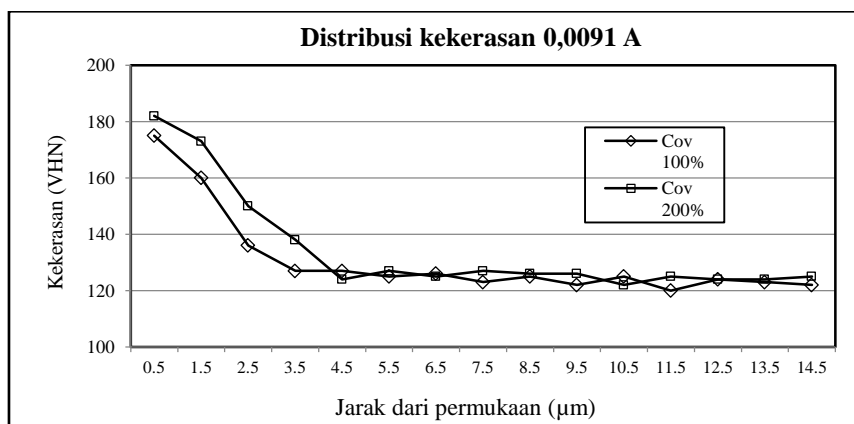
Distribusi kekerasan hasil *shot peening* dengan intensitas 0,0062 A dimulai dari permukaan dengan kekerasan tertinggi kemudian turun secara drastis hingga didapatkan kekerasan dengan harga yang dapat dikatakan tidak berubah lagi yaitu sekitar 121 sampai 130 VHN. Kedalaman pengaruh proses *shot peening* pada intensitas 0,0062 A dengan *coverage* 100% dan 200% adalah antara 150 – 250 μm.

6.3 Kekerasan Hasil Shot Peening 0,0091 A

Sejalan dengan meningkatnya intensitas *shot peening* maka kekerasan pada bagian permukaan akan meningkat pula. Kekerasan material pada bagian permukaan (50μm dari permukaan) dengan penggunaan intensitas sebesar 0,0091 A adalah 175 VHN pada *coverage* 100% dan 182 VHN pada *coverage* 200%.

Kekerasan yang terbentuk dengan peningkatan *coverage* dari 100% menjadi 200% pada intensitas yang sama, yaitu 0,0062 A dan 0,0091 A ternyata tidak menyebabkan peningkatan kekerasan yang besar dibandingkan pada peningkatan intensitas.

Seperti pada penggunaan intensitas 0,0062 A, kekerasan material akan semakin turun secara drastis sejalan dengan makin jauhnya jarak penjejakan dari permukaan material, seperti dapat dilihat pada gambar 4 dibawah.



Gambar 4. Distribusi kekerasan setelah di shot peening 0,0091 A

Kedalaman pengaruh penembakan dengan intensitas 0,0091 A baik pada *coverage* 100% maupun 200% meningkat dibandingkan penggunaan intensitas 0,0062 A, yaitu sekitar 250 μ m pada *coverage* 100% dan 350 μ m pada penggunaan *coverage* 200% berdasarkan hasil pengujian distribusi kekerasan diatas.

Kekerasan yang dicapai pada intensitas 0,0091 A lebih besar dibandingkan dengan intensitas 0,0062 A, hal ini dapat terjadi karena dengan intensitas tumbukan yang semakin besar, maka deformasi yang terjadi pada permukaan material akan semakin besar, sehingga terjadinya penghalangan pergerakan dislokasi menjadi semakin besar, sehingga kekerasan meningkat.

Akibat proses *shot peening* akan terbentuk lekukan-lekukan kecil, seperti dapat dilihat pada gambar 2 diatas, yang apabila secara satuan akan membahayakan, karena pada daerah tersebut akan terjadi sumber kegagalan terhadap komponen karena adanya konsentrasi tegangan pada lekukan tersebut. Tetapi karena lekukan-lekukan yang terjadi adalah dalam jumlah yang besar maka pada permukaan akan terjadi distribusi tegangan pada setiap lekukan, disamping itu tegangan yang ditimbulkan oleh proses *shot peening* adalah tegangan sisa tekan (*compressive residual stress*) yang akan menghambat awal terjadinya kegagalan pada pada suatu komponen.

6.4 Tegangan Sisa

Hasil pengujian tegangan sisa (*residual stress*) dapat dilihat pada tabel 3 dibawah, pengujian dilakukan dengan menggunakan *X-Ray Diffraction*.

Tabel 3. Hasil Pengujian Tegangan Sisa

No	Kondisi	Tegangan Sisa (σ , MPa)
1	Tanpa Shot Peening	92,5021
2	Shot Peening 0,0062 A, 100%	-111,8726
3	Shot Peening 0,0062 A, 200%	-113,1122
4	Shot Peening 0,0091 A, 100%	-139,5552
5	Shot Peening 0,0091 A, 200%	-170,5675

Dari hasil pengujian tegangan sisa pada tabel 3 diatas, diketahui bahwa tegangan sisa material awal (tanpa dilakukan proses *shot peening*) adalah 92,5021 MPa, tegangan sisa ini berupa tegangan sisa tarik (*residual stress tension*), tegangan sisa ini dapat timbul karena proses permesinan dan perlakuan panas yang dialami material Al 7075 T7351. Tegangan sisa tarik yang ada pada material awal tersebut dalam aplikasinya akan mempercepat terjadinya kegagalan terhadap suatu komponen jika diberi pembebanan baik berupa beban berulang maupun statis.

Sedangkan tegangan sisa pada material yang dilakukan proses *shot peening* pada permukaannya terjadi perubahan, yaitu tegangan sisa tekan (*residual stress compression*), seperti ditunjukkan pada tabel 3, yang dapat menghalangi awal terjadinya kegagalan pada daerah tegangan sisa tekan tersebut sehingga umur dari material dapat diperpanjang.

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 3, juga dapat diketahui bahwa proses penembakan dengan pelapisan permukaan (*coverage*) 200% pada intensitas 0,0062 A, belum melampaui harga tegangan sisa tekan yang dihasilkan pada penembakan 0,0091 A. Kenaikan nilai tegangan sisa pada intensitas 0,0062 A dengan *coverage* 200% lebih kecil dibandingkan dengan kenaikan yang dialami pada *coverage* 200% dengan intensitas 0,0091 A, hal ini dapat

disebabkan karena tekanan partikel *shot* yang lebih besar dan jarak dari permukaan material yang ditembak lebih dekat sehingga kenaikan tegangan sisa yang dialami pada intensitas 0,0091 A menjadi lebih besar.

Timbulnya tegangan sisa tekan pada permukaan material dapat terjadi karena efek penekanan yang besar, yang mengakibatkan dipermukaan material terjadi deformasi plastis sedangkan dibawahnya tetap dalam keadaan elastis (normal), oleh karena itu pada permukaan timbul tegangan sisa tekan sedangkan dibawah lapisan tersebut terdapat daerah tegangan sisa tarik yang mengimbangnya. Kedalaman lapisan tegangan sisa tekan pada permukaan material, berdasarkan gambar 3 dan 4 adalah antara 150 – 250 μm untuk intensitas 0,0062 A, dan antara 250 – 350 μm pada intensitas 0,0091 A.

Secara mekanika timbulnya tegangan sisa tekan pada permukaan dan tegangan sisa tarik pada bagian dalamnya dapat dijelaskan menurut hukum aksi reaksi, yaitu akibat aksi gaya tekan yang diberikan partikel *shot*, menyebabkan pada permukaan timbul tegangan sisa tekan, sementara pada daerah dibawahnya memberikan reaksi yang berlawanan sehingga terjadi tegangan yang melawan arah tembakan partikel *shot*.

7. KESIMPULAN

Proses *shot peening* menyebabkan terjadinya perubahan jenis tegangan sisa (*residual stress*) pada permukaan dari keadaan tarik sebesar 92,5021 MPa menjadi tekan antara -111,8726 MPa sampai -170,5675 MPa, serta meningkatnya kekerasan pada permukaan Aluminium 7075 T7351 dengan kedalaman pengaruh antara 150 – 350 μm .

Makin besar intensitas dan *coverage* yang diberikan, maka besarnya tegangan sisa dan kekerasan yang dihasilkan semakin besar. Peningkatan intensitas ternyata lebih mempunyai pengaruh besar dibandingkan peningkatan *coverage* menjadi 200% terhadap tegangan sisa dan kekerasan pada permukaan yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Campbell, F.C. (2008). *Element of Metallurgy and Engineering Alloys*. Ohio : ASM International.
- Gariépy, A., Miao, H.Y., & Lévesque, M. (2017). *Simulation of the Shot Peening Process with Variable Shot Diameters and Impacting Velocities*. *Advances in Engineering Software*, 114, 121-133.
- Klotz, T., et al. (2018). *Analytical Fatigue Life Prediction of Shot Peened Inconel 718*. *International Journal of Fatigue*, 113, 204-221.
- Klotz, T., D. Delbergue., P. Bocher., M. Levesque., & M. Brochu. (2018). *Surface Characteristics and Fatigue Behavior of Shot Peened Inconel 718*. *International Journal of Fatigue*, 110, 10-21.
- Liu, A., et al. (2001). *Low Carbon Steel with Nanostructured Surfaces Layer Induced by High Energy Shot Peening*. *Scripta Mater*, 44, 1791-1795.

- Mahmoudi, A.H., et al. (2016). *A Comprehensive Experimental and Numerical Study on Redistribution of Residual Stresses by Shot Peening*. Material and Design, 90, 478-487.
- Nugroho, Aris W., & Sunardi. (2017). *Rekayasa Permukaan Shot Peening untuk Meningkatkan Sifat Mekanis dan Wettability pada Material Biomedik Plat Penyambung Tulang SS 316L*. Lembaga Penelitian Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Okido, Shinobu., et al. (2002). *Preventive Effect of Shot Peening on Stress Corrosion Cracking*. Material Science Research International, Vol.8, No.4, 193-198.
- Torres, M.A.S., & H.J.C.Voorwald. *An Evaluation of Shot Peening, Residual Stress and Stress Relaxation on the Fatigue Life of AISI 4340 Steel*. International Journal of Fatigue, 24, 877-886.
- Zhao, Xiaohui., Hongyang Zhou., & Liu Yu. (2018). *Effect of Shot Peening on the Fatigue Properties of Nickel-Based Superalloy GH4169 at High Temperature*. Result in Physics, 11, 452-460.