

ANALISIS TINGKAT KEKERASAN ALUMINIUM 6061 BERDASARKAN VARIASI MEDIA PENDINGIN PADA PROSES PACK CARBURIZING

Yayi Febdia Pradani, Mochamad Sulaiman & Saiful Hardiyanto

Teknik Mesin, Universitas Islam Raden Rahmat

E-mail: yayi.febdia@uniramalang.ac.id

Abstrak: Aluminium banyak digunakan sebagai bahan pembuat komponen mesin seperti piston, *engine block*, *gear* dan komponen lainnya karena sifat kekerasan dan keuletannya. Permasalahan yang sering timbul pada kekerasan permukaan adalah pengaruh dari gaya luar berupa benturan yang menyebabkan terjadinya deformasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh media pendingin terhadap tingkat kekerasan aluminium 6061 dengan proses *pack carburizing*. Bahan eksperimen pada penelitian ini menggunakan serbuk arang berukuran 80 mesh, yang dipanaskan menggunakan tungku *furnace* hingga 530°C dengan waktu penahanan 180 menit. Kemudian dilakukan tiga variasi *quenching* dengan air sumur, oli SAE 40 dan udara. Pengujian aluminium 6061 dilakukan sebelum dan sesudah perlakuan *carburizing*. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian kekerasan mikro Vickers, struktur mikro dan ketebalan pada lapisan karbon. Hasil penelitian menunjukkan nilai kekerasan aluminium 6061 tanpa perlakuan sebesar 60,37 kg/mm². Pasca perlakuan *carburizing* didapatkan nilai kekerasan 41,53 kg/mm², 36,01 kg/mm² dan 33,01 kg/mm². Penurunan nilai kekerasan aluminium 6061 setelah diberi perlakuan *carburizing* disebabkan karena berubahnya struktur mikro dari aluminium 6061 setelah perlakuan *carburizing* dibandingkan dengan *raw material*. Hasil foto mikro pada spesimen uji menunjukkan bahwa setelah proses *carburizing* didominasi oleh fasa tidak stabil yang homogen, sehingga dapat menyebabkan nilai kekerasan menurun.

Kata Kunci: Kekerasan Aluminium, *Pack Carburizing*, Vickers, Pendinginan

Abstract: Aluminum is widely used as engine components such as pistons, engine block, gear and other parts required for hardness and tenacity. The problem that often arises of surface hardness is the effect of external forces in the form of collisions causing deformation. This research aims to determine the effect of cooling media on the hardness level of 6061 aluminum with the pack carburizing process. Experimental materials in this research were using 80 mesh charcoal powder that heating by using a furnace oven until 530°C with holding time 180 minutes. Then three variations of quenching were carried out with water, SAE 40 oil and air. The 6061 aluminum test was carried out before and after the carburizing treatment. The tests carried out were the Vickers micro hardness test, the microstructure and thickness tests on the carbon layer. The results showed the hardness value of aluminum 6061 without treatment of 60.37 kg/mm². After the carburizing treatment, the hardness values obtained were 41.53 kg/mm², 36.01 kg/mm², and 33.01 kg/mm². The decrease in the hardness value of aluminum 6061 after being treated with carburizing is due to changes in the microstructure of aluminum 6061 after carburizing treatment compared to raw material. The results of the micro-photo showed that the specimen after carburizing was dominated by an unstable phase which was homogeneous, so caused the hardness value decreased.

Keywords: Hardness of Aluminum, *Pack Carburizing*, Vickers, Cooling

PENDAHULUAN

Perkembangan industri manufaktur saat ini semakin maju seiring dengan perkembangan jaman dan teknologi. Proses produksi peralatan rumah tangga, pesawat terbang, mobil, kapal laut, dan konstruksi banyak membutuhkan bahan baku dari logam, terutama baja dan aluminium. Aluminium seringkali digunakan sebagai bahan pembuat komponen mesin seperti piston, *engine block*, *gear* dan komponen lainnya karena ringan, serta memiliki tingkat kekerasan dan keuletan yang tinggi. Tetapi hingga saat ini masih sering timbul permasalahan dalam hal kekerasan permukaan yang karena terkena pengaruh gaya luar berupa benturan sehingga terjadi deformasi atau perubahan bentuk (Surdia & Saito, 2013). Untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan bahan yang mempunyai sifat keras dan ulet, apabila sifat kekerasan aluminium dapat dimodifikasi, maka hal ini akan menguntungkan beberapa sektor industri karena banyak sektor industri yang membutuhkan bahan aluminium dengan nilai kekerasan yang tinggi.

Salah satu cara untuk meningkatkan nilai kekerasan permukaan yaitu melalui proses perlakuan panas (*heat treatment*). Proses pengarbonan (*carburizing*) merupakan proses *chemical heat treatment* yang dilakukan dengan cara memanaskan spesimen pada suhu austenite dalam ruang yang mengandung serbuk karbon. Proses *carburizing* bertujuan untuk menambah kandungan karbon agar bisa ditingkatkan kekerasannya. Faktor yang dapat mempengaruhi kekerasan adalah *temperature*, *holding time* dan *cooling media*. Banyak media yang bisa digunakan sebagai sumber karbon pada proses *pack carburizing*. Media pengarbonan berbentuk padat yang digunakan dalam penelitian ini adalah arang tempurung kelapa. Arang tempurung kelapa sebagai sumber karbon padat pada proses ini dirubah terlebih dahulu dalam bentuk butiran. Perbedaan ukuran butir serbuk arang tempurung kelapa akan mengakibatkan berbeda pula volume dari masing-masing butir. Semakin kecil ukuran butir, semakin kecil pula volume butirnya. Bentuk butiran akan membantu proses perubahan karbon padat menjadi gas melalui pemanasan (Kuswanto, 2010).

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah aluminium seri 6061, karena seri ini termasuk ke dalam seri 6000 yang merupakan jenis paduan aluminium yang dapat diperlakukan (Wirjosumarto & Okumura, 2000). Aluminium seri 6061 adalah salah satu jenis material yang banyak penerapannya pada industri maju karena memiliki keunggulan dari bagian sisi yaitu seperti kemampuan permesinan yang baik, penyelesaian permukaan sempurna, kekuatan yang tinggi dan ringan, serta tahan terhadap korosi (Husaini, 2006). Pada penelitian ini dilakukan pengerasan permukaan dengan metode *pack carburizing* atau pengarbonan dengan perantara zat padat dimana medianya adalah serbuk arang tempurung kelapa dan media pendingin yang digunakan adalah air sumur, oli SAE 40 dan udara.

METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan melakukan beberapa uji coba menggunakan spesimen. Tahapan eksperimen penelitian ini meliputi:

1. Pembuatan Serbuk Arang Tempurung Kelapa

Arang tempurung kelapa hasil pembelian diseragamkan dengan cara dijadikan bentuk serbuk, kemudian dihaluskan dan diayak untuk mendapatkan ukuran butir $\pm 177 \mu\text{m}$ (Gambar 1).



Gambar 1. Proses Pengayakan Arang Tempurung Kelapa Menjadi Serbuk

2. Pembuatan Spesimen

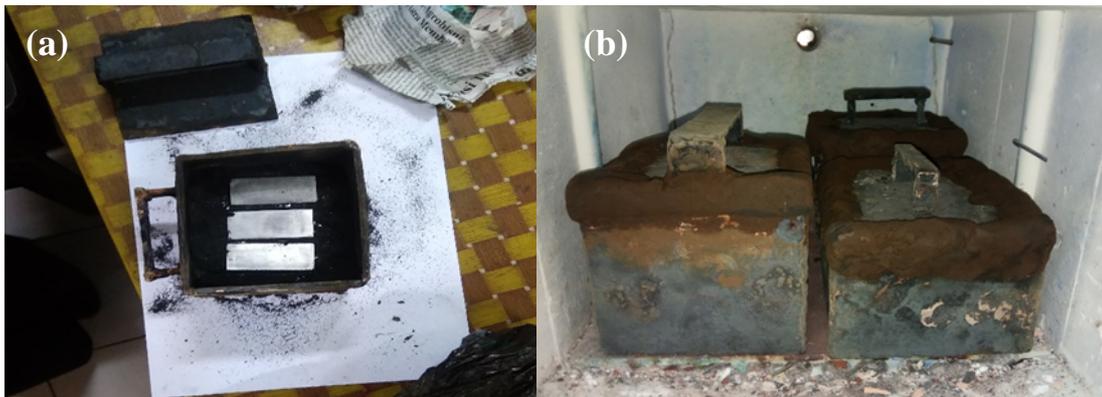
Uji kekerasan Micro Vickers dan struktur mikro menggunakan spesimen yang sama agar memperoleh data yang dapat dihubungkan. Pengujian meliputi material aluminium seri 6061 sebelum dan sesudah proses *pack carburizing*. Bentuk material dasar yang digunakan yaitu berbentuk balok dengan ukuran $50 \times 20 \times 20$ mm sesuai ASTM-E384 (Gambar 2).



Gambar 2. Bentuk Spesimen Sesuai ASTM-E384

3. Proses *Pack Carburizing*

Untuk mendapatkan lapisan luar pada benda kerja yang keras dan inti yang kuat serta ulet dilakukan proses *pack carburizing*, dengan menggunakan media campuran serbuk arang tempurung kelapa (90%) dan barium karbonat (10%) sebagai lapisan karbon. Suhu oven pemanas disetting pada 530°C dengan waktu penahanan 180 menit (Gambar 3).



Gambar 3. Proses *Pack Carburizing*; (a) Spesimen Dicampur Serbuk Arang dan (b) Pemanasan Oven

4. Pengujian Spesimen

Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kekerasan dan struktur mikro pada spesimen hasil *pack carburizing* serta *raw material*. Pengujian kekerasan menggunakan alat uji kekerasan Mikro Vickers jenis EW-412AAT dengan penumbuk piramida intan berbentuk bujur sangkar, besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136° dengan pembebanan sebesar 200g dan gaya uji penuh 10s (ASTM E384, 2005). Untuk proses pengujian ketebalan dilakukan setelah spesimen diberi perlakuan *carburizing*. Setiap variasi diambil dua sampel untuk pengujian ketebalan yaitu spesimen dengan nilai kekerasan tertinggi dan terendah, pengujian ketebalan menggunakan mikroskop metalurgi Nikon Japan 59520 dengan cara pengamatan dilakukan dari bagian atas spesimen untuk melihat ketebalan karbon pada bagian samping spesimen.



Gambar 4. Pengujian Spesimen Dengan Mikro Vickers

5. Analisis Data

Untuk menganalisis data mentah yang diperoleh dari hasil pengujian digunakan teknik statistik deskriptif, sehingga diketahui nilai tengahnya (*mean*). Data kemudian diolah dalam persamaan statistik menggunakan analisis *one way anova* yang didasarkan pada pengamatan 1 kriteria atau satu faktor dengan taraf signifikansi 0,01 atau tingkat kepercayaan sebesar 99%.

HASIL DAN DISKUSI

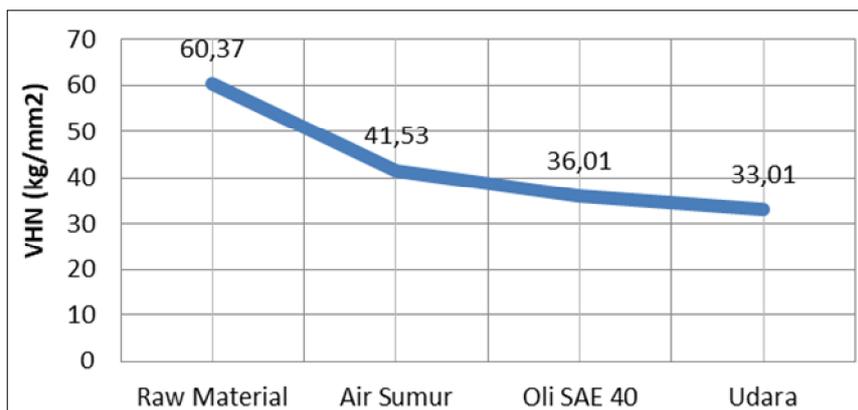
Hasil Penelitian

Data Kekerasan Spesimen

Spesimen pada pengujian kekerasan berjumlah 12 buah, yang terdiri dari 3 spesimen tanpa perlakuan (*raw material*) dan 9 spesimen perlakuan *carburizing* dengan variasi pendingin air sumur, oli SAE 40, serta udara. Setiap spesimen akan dikenai 3 titik injakan, data hasil uji kekerasan tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Kekerasan Spesimen Tiap Variasi

No	Variasi Pendingin	Kekerasan (VHN) kg/mm ²			Rata-rata tiap spesimen (VHN) kg/mm ²	Rata-rata kekerasan (VHN) kg/mm ²
1.	<i>Raw Material</i>	64,90	62,40	61,60	62,97	60,37
		61,60	58,20	60,40	60,07	
		57,10	57,20	59,90	58,07	
2.	Air sumur	A ₁ 50,00	45,90	45,80	47,23	41,53
		A ₂ 42,50	36,90	38,60	39,33	
		A ₃ 37,20	38,30	38,60	38,03	
3.	Oli SAE 40	O ₁ 38,20	38,90	39,00	38,70	36,01
		O ₂ 35,30	36,00	35,20	35,50	
		O ₃ 36,40	31,30	33,80	33,83	
4.	Udara	U ₁ 35,10	33,30	33,90	34,10	33,01
		U ₂ 31,40	29,50	32,30	31,07	
		U ₃ 33,70	34,30	33,80	33,93	



Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen

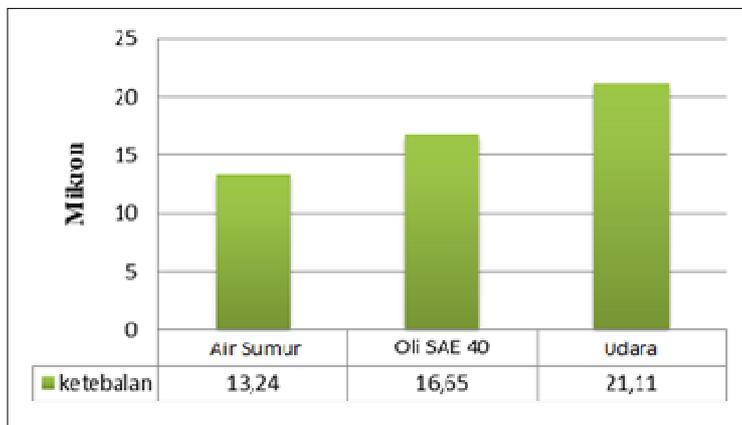
Berdasarkan deskripsi data yang telah disajikan, diketahui bahwa spesimen yang diberi perlakuan panas dengan tiga variasi pendinginan (air sumur, oli SAE 40, dan udara) mengalami perbedaan penurunan atau peningkatan nilai kekerasan dari masing-masing spesimen. Adapun persentase penurunan kekerasan spesimen uji terhadap *raw material* (60,37 kg/mm²) sebagai pembanding, adalah sebagai berikut; (a) nilai kekerasan spesimen dengan media pendingin air sumur yaitu 41,53 kg/mm² mengalami penurunan sebesar 31,21% dari *raw material*, (b) nilai kekerasan spesimen dengan media pendingin oli SAE 40 yaitu 36,01 kg/mm² mengalami penurunan sebesar 40,35% dari *raw material*, dan (c) nilai kekerasan spesimen dengan media pendingin udara yaitu 33,01 kg/mm² mengalami penurunan sebesar 45,29% dari *raw material*.

Data Ketebalan Lapisan

Proses pengujian ketebalan dilakukan setelah spesimen diberi perlakuan *carburizing*. Setiap variasi diambil dua sampel untuk pengujian ketebalan yaitu spesimen dengan nilai kekerasan tertinggi dan terendah. Hasil pengujian ketebalan dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 6.

Tabel 2. Data Ketebalan *Carburizing* Tiap Variasi

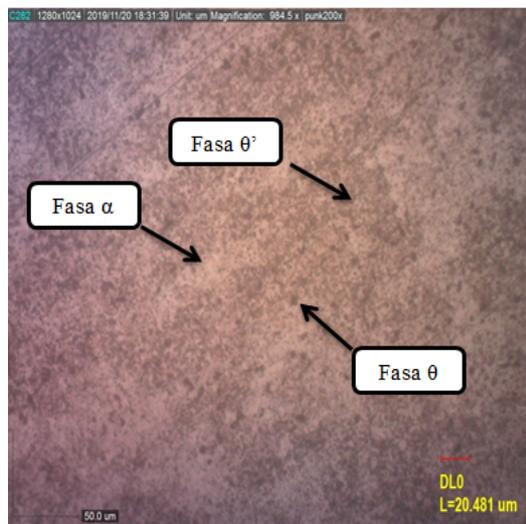
No.	Spesimen		Tebal <i>carburizing</i> (µm)			Tebal rata-rata (µm)	Ketebalan (rata-rata A & B)
1	Air Sumur	A	14,28	13,03	16,14	14,48	13,24 µm
		B	11,79	12,41	11,79	12,00	
2	Oli SAE 40	A	16,76	16,76	15,52	16,34	16,65 µm
		B	15,52	17,38	18,00	16,96	
3	Udara	A	23,58	20,48	18,62	20,90	21,11 µm
		B	20,48	21,10	22,35	21,31	



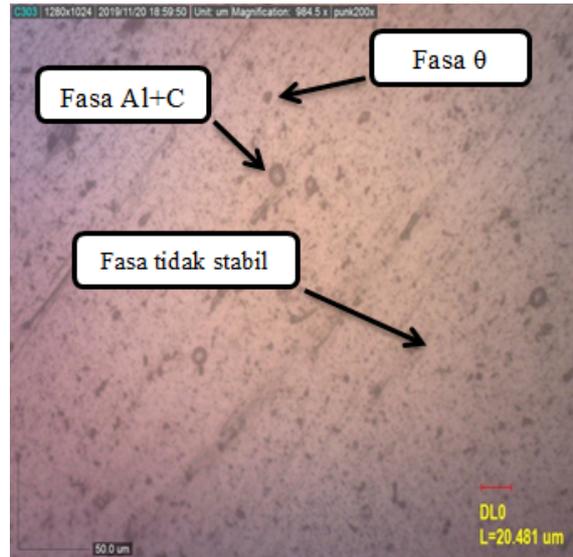
Gambar 6. Grafik Ketebalan Lapisan *Carburizing*

Pengamatan Struktur Mikro

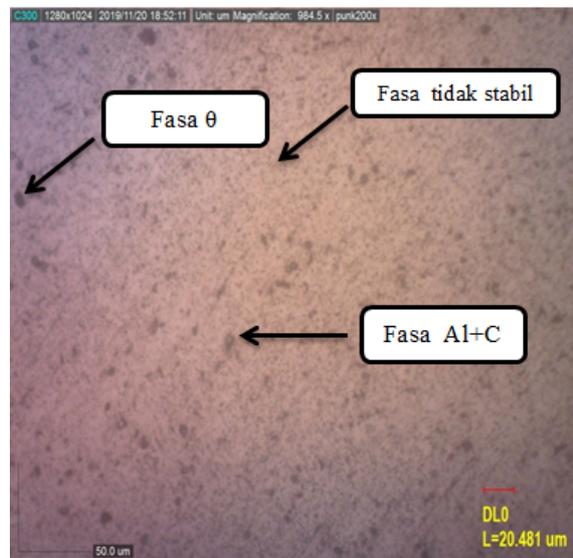
Pengamatan struktur mikro bertujuan untuk membandingkan struktur mikro dari material aluminium seri 6061 sebelum dan sesudah proses *carburizing*. Pengamatan yang dilakukan menggunakan pembesaran 984,5 kali dengan ukuran 200 µm. Hasil foto mikro dari semua spesimen bisa dilihat pada Gambar 7, Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10.



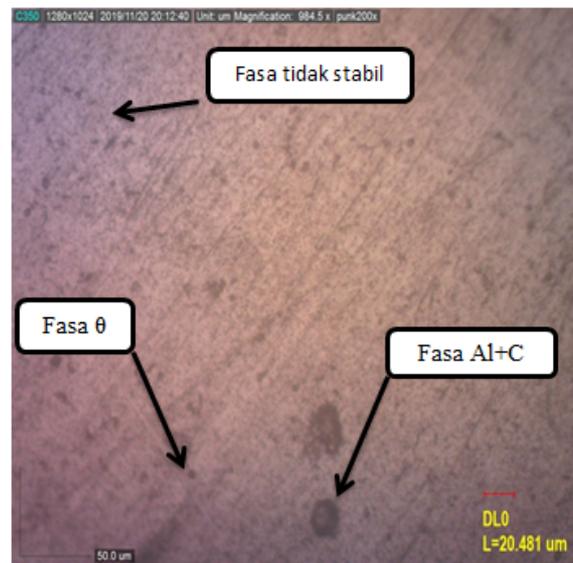
Gambar 7. Foto Struktur Mikro *Raw Material*



Gambar 8. Foto Struktur Mikro Spesimen Dengan Media Pendingin Air Sumur



Gambar 9. Foto Struktur Mikro spesimen Dengan Media Pendingin Oli SAE 40



Gambar 10. Foto Struktur Mikro Spesimen Dengan Media Pendingin Udara

Berdasarkan hasil pengamatan struktur mikro dapat diketahui bahwa; (a) struktur mikro *raw material* (Gambar 7) mempunyai struktur fasa θ' lebih mendominasi dibandingkan dengan Fasa α dan Fasa θ yang menandakan bahwa aluminium bersifat tidak keras namun ulet, (b) struktur mikro spesimen yang telah diberi perlakuan panas *carburizing* dengan media pendingin air sumur (Gambar 8) adalah fasa Al+C, fasa θ , dan fasa tidak stabil, dimana fasa tidak stabil lebih mendominasi, (c) struktur mikro spesimen yang telah diberi perlakuan panas *carburizing* dengan media pendingin oli SAE 40 (Gambar 9) adalah fasa Al+C, fasa θ , dan fasa tidak stabil, dimana fasa tidak stabil lebih mendominasi, dan (d) struktur mikro spesimen yang telah diberi perlakuan panas *carburizing* dengan media pendingin udara (Gambar 10) adalah fasa Al+C, fasa θ , dan fasa tidak stabil, dimana fasa tidak stabil lebih mendominasi.

Analisis Data

Setelah semua data yang dibutuhkan sudah terkumpul, dilakukan pengolahan data yang bertujuan untuk menguji hipotesis penelitian. Sebelum pengujian hipotesis dilakukan uji prasyarat untuk mengetahui kenormalan data dan kehomogenan varian.

Tabel 3. Hasil Uji Normalitas

	Shapiro-Wilk		
	Statistic	Df	Sig.
RM	0,21	3	0,79
Air Sumur	0,34	3	0,25
Oli SAE 40	0,25	3	0,66
Udara	0,37	3	0,09

Tabel 4. Hasil Uji Homogenitas

Test of Homogeneity of Variances			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2,36	3	8	0,15

Tabel 5. Hasil Uji Anova

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1355,38	3	451,79	45,31	0,00
Within Groups	79,76	8	9,97		
Total	1435,14	11			

Hasil uji anova yang diringkas pada Tabel 5 memperoleh nilai signifikansi 0,00, yang berarti nilai signifikansi dari ketiga sampel pengujian kekerasan lebih kecil dibandingkan taraf signifikansi 0,01. Berdasar hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa H_0 ditolak dan H_1 diterima. Hal ini berarti terdapat pengaruh variasi media pendingin pada proses *pack carburizing* terhadap tingkat kekerasan aluminium 6061. Besarnya nilai koefisien korelasi 0,00 - 0,01= -0,01 menunjukkan pengaruh variasi media pendingin pada proses *carburizing* tergolong sangat rendah.

Diskusi

Data hasil eksperimen yang telah dideskripsikan dalam bentuk diagram batang dan tabel menunjukkan bahwa terdapat perbedaan tingkat kekerasan dan ketebalan lapisan *carburizing* pada spesimen uji. Pengujian ketebalan lapisan *carburizing* bertujuan untuk mengetahui keberhasilan apakah unsur karbon bisa terdifusi kedalam unsur aluminium seri 6061 dengan menggunakan metode *pack carburizing*. Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bahwa spesimen yang diberi perlakuan dengan pendinginan udara menunjukkan nilai ketebalan yang paling tinggi, sedangkan spesimen yang diberi perlakuan dengan pendinginan air sumur memiliki nilai ketebalan lebih rendah dibandingkan dengan spesimen yang diberi perlakuan dengan pendinginan oli SAE 40. Hal ini menunjukkan bahwa unsur karbon dapat terdifusi ke dalam unsur aluminium seri 6061.

Data nilai kekerasan menunjukkan bahwa spesimen uji mengalami penurunan nilai kekerasan dibandingkan spesimen *raw material*, yang berarti perlakuan *carburizing* dengan ukuran serbuk arang

tempurung kelapa 80 mesh dengan variasi media pendingin air sumur, oli SAE 40, dan udara membuat nilai kekerasan aluminium 6061 semakin menurun. Hasil eksperimen ini berbanding terbalik dengan tujuan dari *carburizing* yaitu meningkatkan kekerasan permukaan dan meningkatkan ketahanan korosi dari sebuah material (Shaifudin dkk., 2018).

Berdasarkan hasil pengamatan stuktur mikro ditemukan perbedaan struktur dari spesimen uji yang diberi pendingin air sumur, oli SAE 40, dan udara. Pada proses perlakuan panas (*carburizing*), perbedaan laju pendinginan setiap variasi menyebabkan adanya perbedaan difusi atom karbon pada lapisan luar spesimen. Pada spesimen *raw material* terlihat ada tiga fasa yang berbeda yaitu: fasa α , fasa θ , dan fasa θ' . Huda dkk. (2008) menyatakan daerah berwarna terang adalah daerah fasa α yang merupakan fasa padat dimana larutan atom-atom silicon (Si) larut didalam larutan Al, daerah berwarna gelap adalah daerah fasa θ yang merupakan fasa menengah paduan yang komposisinya mendekati senyawa Mg_2Si , dan butiran berwarna gelap adalah fasa θ' (*presipitat*) Mg_2Si .

Terdapat tiga kelompok spesimen yang telah diberi perlakuan panas (*carburizing*). *Pertama*, kelompok spesimen yang diberi perlakuan *carburizing* dengan pendingin air sumur memiliki nilai kekerasan paling tinggi dibandingkan dengan spesimen dengan pendingin oli SAE 40 dan spesimen dengan pendingin udara, dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar $41,53 \text{ kg/mm}^2$ dan ketebalan rata-rata lapisan *carburizing* $13,24 \mu\text{m}$. Hasil pengamatan struktur mikro spesimen dengan pendingin air sumur terlihat mengalami perubahan struktur mikro dari spesimen *raw material* yang ditandai terbentuknya fasa Al+C dan fasa tidak stabil (larutan padat lewat jenuh). Fasa tidak stabil ini terbentuk karena terlarutnya fasa presipitat (Mg_2Si) akibat proses pemanasan pada temperatur autetik Mg_2Si kemudian dilakukan pendinginan cepat (*quenching*). Hal ini membuat presipitat larut ke dalam keadaan satu fasa (Surdia & Saito, 2013). Fasa Al+C adalah ikatan dari unsur karbon yang terdifusi kedalam unsur Al. Fasa ini terbentuk dikarenakan pada paduan aluminium 6061 memiliki komposisi penyusun unsur aluminium terbesar yaitu 95,8-98,6%, sehingga dapat menyebabkan unsur karbon mudah terdifusi dengan unsur aluminium (Vander Voort, 2004).

Kedua, untuk spesimen yang diberi perlakuan *carburizing* dengan media pendingin oli SAE 40 mempunyai nilai rata-rata kekerasan sebesar $36,01 \text{ kg/mm}^2$ dan ketebalan rata-rata lapisan *carburizing* $16,65 \mu\text{m}$. Nilai kekerasan yang diperoleh dari spesimen ini lebih tinggi dibandingkan spesimen dengan pendingin udara, namun lebih rendah dibandingkan dengan kekerasan spesimen dengan pendingin air sumur. Hasil pengamatan struktur mikro spesimen dengan pendingin oli SAE 40 menunjukkan lebih sedikit terbentuknya fasa Al+C dan fasa θ , akan tetapi lebih banyak terbentuk fasa tidak stabil dibandingkan dengan spesimen dengan pendingin air sumur.

Ketiga, pada kelompok spesimen yang diberi perlakuan *carburizing* dengan pendingin udara diperoleh nilai rata-rata kekerasan $33,01 \text{ kg/mm}^2$ dan ketebalan rata-rata lapisan *carburizing* $21,11 \mu\text{m}$. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan spesimen dengan pendingin udara terdiri dari fasa Al+C, fasa θ dan didominasi dengan fasa tidak stabil, unsur karbon terdifusi menjadi fasa baru memebentuk menjadi fasa tunggal. Secara umum pada semua kelompok spesimen yang telah diberi perlakuan panas masih terdapat fasa θ pada struktur mikronya. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat pemanasan tidak semua unsur Mg_2Si terlarut membentuk larutan yang homogen, dikarenakan suhu pemanasan untuk mendapatkan larutan Mg_2Si yang homogen adalah sebesar $500-595^\circ\text{C}$ (Surdia & Saito, 2013).

Berdasarkan data-data hasil penelitian dapat dilihat adanya penurunan nilai kekerasan setiap kelompok yang diberi perlakuan *carburizing* terhadap nilai kekerasan *raw material*. Pada penelitian ini telah diidentifikasi penyebab menurunnya nilai kekerasan dipengaruhi oleh dua faktor yaitu: (a) perubahan struktur mikro, dan (b) suhu aktivasi.

Hasil pengamatan struktur mikro pada penelitian ini menunjukkan terjadinya perubahan fasa yang terbentuk dari aluminium 6061 sebelum dan sesudah *carburizing*. Kelompok spesimen *raw material* memiliki nilai kekerasan tertinggi dibandingkan semua spesimen yang telah diberi perlakuan. Penyebabnya adalah karena struktur mikro dari *raw material* memiliki kerapatan yang tinggi antara batas butir dari setiap fasa dan didominasi oleh fasa presipitat (Mg_2Si). Semakin banyak presipitat yang terbentuk maka akan berpengaruh terhadap meningkatnya sifat mekanik terutama dalam hal kekuatan tarik dan kekerasan (Rochman dkk., 2010). Perlakuan panas menyebabkan terbentuknya fasa tidak stabil berbentuk butiran-butiran halus dan merata yang mendominasi struktur mikro dari tiap kelompok spesimen. Fasa tidak stabil ini terbentuk karena larutnya fasa presipitat (Mg_2Si) akibat proses pemanasan pada temperatur autetik Mg_2Si kemudian dilakukan pendinginan

cepat (*quenching*) atau yang biasa disebut perlakuan pelarutan, hal ini membuat presipitat larut ke dalam keadaan satu fasa yang homogen (Surdia & Saito, 2013). Sesuai data yang diperoleh dari penelitian ini, semakin terurainya fasa presipitat menjadi fasa tidak stabil (fasa tunggal homogen) maka nilai kekerasan semakin menurun.

Hasil foto mikro pada spesimen setelah perlakuan menunjukkan unsur karbon terdifusi membentuk fasa baru meskipun tidak merata. Kelompok spesimen dengan pendingin air sumur menunjukkan lebih banyak fasa baru dibandingkan dengan kelompok spesimen dengan pendingin oli SAE 40 dan spesimen dengan pendingin udara. Faktor penyebab turunnya nilai kekerasan aluminium 6061 setelah proses *carburizing* adalah suhu aktivasi yang terjadi ketika proses pemanasan dengan suhu relatif tinggi. Aktivasi adalah suatu perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi (Ajayi & Olawale, 2009). Aktivasi dapat terjadi dengan proses pemanasan pada suhu 800-900°C. Adapun faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses aktivasi adalah waktu, suhu, ukuran partikel, rasio dan jenis aktivator (Polii, 2017).

SIMPULAN

Simpulan dari penelitian ini adalah terdapat pengaruh variasi media pendingin terhadap nilai kekerasan aluminium 6061 pada proses *pack carburizing*. Hasil eksperimen ini berbanding terbalik dengan tujuan dari *caburizing* yaitu meningkatkan kekerasan permukaan dan meningkatkan ketahanan korosi dari sebuah material. Nilai kekerasan spesimen yang diberi perlakuan *carburizing* dengan media pendingin air sumur, oli SAE 40 dan udara berturut-turut adalah 41,53 kg/mm², 36,01 kg/mm² dan 33,01 kg/mm². Besarnya persentase penurunan nilai kekerasan spesimen uji terhadap *raw material* (60,37 kg/mm²) berturut-turut sebesar 31,21%, 40,35% dan 45,29%. Nilai kekerasan paling rendah terjadi pada penggunaan media pendingin udara, sedangkan spesimen dengan media pendingin air sumur mempunyai nilai kekerasan paling tinggi. Hasil foto mikro pada spesimen uji menunjukkan bahwa setelah proses *carburizing* didominasi oleh fasa tidak stabil yang homogen, sehingga dapat menyebabkan nilai kekerasan menurun.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk memperbaiki kelemahan penelitian ini dan sekaligus sebagai saran penelitian selanjutnya adalah; (a) melakukan eksperimen yang lebih komprehensif untuk mengetahui kekuatan tarik dan komposisi kimia akibat perlakuan panas dengan variasi pendinginan air sumur, oli SAE 40 dan udara, serta (b) melakukan eksperimen dengan proses penuaan buatan (*artificial aging*) guna memperbaiki sifat mekanik dari aluminium 6061 setelah diberi perlakuan *carburizing*.

DAFTAR RUJUKAN

- Ajayi, O. & Olawale, A. (2009). A Comparative Study of Thermal and Chemical Activation of Canarium Schweinfurthii Nutshell. *Journal of Applied Science*, 5(12): 2148-2152.
- ASTM Standard E-384 (2005). *Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials*. ASTM, West Conshohocken, PA, USA, pp. 1–8.
- Huda, Z., Taib, I., & Zaharinie, T. (2008). *Characterization of 2024-T3: an Aerospace Aluminium Alloy*. Department of Geology, and Department of Mechanical Engineering. University of Malaya.
- Husaini. (2006). Perilaku Retak Aluminium Paduan A6061–T6 Pada Pembebanan Mixed Mode. *Jurnal Teknik Mesin*, 8(1): 26-32.
- Kuswanto, B. (2010). *Pengaruh Perbedaan Ukuran Butir Arang Tempurung Kelapa-Barium Karbonat Terhadap Peningkatan Kekerasan Permukaan Material Baja ST.37 Dengan Proses Pack Carburizing*. Tesis Tidak Diterbitkan: Universitas Diponegoro.
- Polii, F. F. (2017). Pengaruh Suhu dan Lama Aktifasi terhadap Mutu Arang Aktif dari Kayu Kelapa. *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*, 12(2): 21-28.
- Rochman, R., Hariyati, P. & Purbo, C. (2010). Karakteristik Sifat Mekanik dan Pembentukan Fasa Presipitat pada Aluminium Alloy 2024-T81 Akibat Perlakuan Penuaan. *Jurnal Mekanika*,

8(2): 165-171.

- Shaifudin, A., Istiasih, H. & Mufarrih, A. (2018). Optimalisasi Difusi Karbon dengan Metode *Pack Carburizing* pada Baja ST.42. *Jurnal Mesin Nusantara*, 1(1): 27-34.
- Surdia, T. & Saito, S. (2013). *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT. Balai Pustaka.
- Vander Voort, G. F., Lampman, S. R., Sanders, B. R., Anton, G. J., Polakowski, C., Kinson, J., Muldoon, K., Henry, S. D. & Scott Jr, W. W. (2004). *ASM Handbook: Volume 9 Metallography and Microstructures*. Materials Park, Ohio 44073-0002.
- Wirjosumarto, H. & Okumura, T. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.