Kajian Perbandingan Komposisi Kimia, Sifat Mekanik dan Ketahanan Aus terhadap Baja Perkakas AISI D2 pada Aplikasi DIES

Setiani Ibrahim^{1*}

¹ Program Studi Teknologi Pengelasan dan Fabrikasi, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi dan Sains Bandung

¹ Corresponding author: ibrahimsetiani@yahoo.com

Abstrak. Material *dies* yang digunakan dalam proses stamping harus memiliki kekerasan, ketangguhan, ketahanan aus dan umur pakai yang optimal, untuk menghasilkan perpaduan sifat tersebut diperlukan pemilihan material *dies* dan proses perlakuan panas yang tepat. Pemilihan material merupakan faktor terpenting untuk mendapatkan umur pakai yang tinggi sehingga dapat mengoptimalkan proses produksi. Salah satu material yang dapat digunakan sebagai *dies* adalah material baja perkakas AISI D2. Pada penelitian ini di gunakan tiga jenis material baja perkakas AISI D2 dari tiga distributor berbeda, metoda penentuan material baja perkakas AISI D2 yang tepat dilakukan berdasarkan analisis dan sifat mekanik yang dihasilkan setelah proses perlakuan panas. Material yang memiliki ketahanan aus yang tinggi merupakan material yang memiliki struktur mikro martensit temper dengan *primary carbide* dan *small secondary carbide* yang dihasilkan setelah proses *tempering* yang dipengaruhi oleh komposisi kimianya.

Keywords: AISI D2 tool steel, Heat Treatment, Karbida

1. Pendahuluan

Proses stamping membutuhkan material baja perkakas jenis AISI D2 dengan kandungan krom dan karbon yang tinggi untuk mendapatkan ketahanan aus yang optimal. Material baja perkakas ini digunakan sebagai *dies* dalam proses stamping. Material *dies* yang digunakan dalam proses *stamping* harus memiliki kekerasan, ketangguhan dan ketahanan aus yang tinggi [1]. Selain itu material yang digunakan sebagai *dies* harus mudah di machining dan memiliki umur pakai yang panjang agar tidak menghambat proses produksi. Material baja perkakas AISI D2 banyak diproduksi di Asia dan Eropa. Negara produsen di Asia antara lain; China, Korea, Jepang dan India. Dies yang menggunakan material dari produsen tertentu sering kali mengalami *cracking* bahkan *fracture* pada saat produksi, sehingga menghambat proses produksi.

Tabel 13. Komposisi Kimia dan Nilai C eq (JIS)

Grade	Kode Spesimen	Komposisi Kimia								
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	Fe	C eq
OCR12VM	C1-CC	1.103	0.370	0.84	8.25	0.21	2.299	0.497	Bal	3.4650
STD 11	K1-CC	1.469	0.267	0.21	11.64	0.19	0.873	0.270	Bal	4.1103
QC 11	J 1-CC	1.416	0.350	0.21	11.12	0.16	0.846	0.203	Bal	3.9371

Pada penelitian ini, akan dianalisis sifat-sifat material baja perkakas AISI D2 berdasarkan distributor yang memproduksiya. Selanjutnya akan dikaji ketahanan aus dari masing-masing material baja perkakas setelah melalui proses perlakuan panas.

2. Metodologi

Dilakukan pengumpulan data mengenai stamping *dies*, kemudian dilakukan pemeriksaan struktur mikro [2], pengujian kekerasan *micro vickers* [3], pemeriksaan komposisi kimia [4] dan pengujian impak [5] pada material as-received dan dilakukan pemeriksaan struktur mikro pada bagian *surface* dan *cross section*, pengujian kekerasan *micro vickers*, pengujian impak dan pengujian aus.

3. Data dan Pembahasan

3.1. Material

Spesimen *As-Received* merupakan spesimen yang telah mengalami proses *annealed* setelah melalui serangkaian proses *steel making* pemeriksaan komposisi kimia pada spesimen *As-Received* dilakukan untuk membandingkan komposisi kimia pada katalog material dan standar JIS [6] dengan hasil pemeriksaan komposisi kimia secara kuantitatif, menggunakan OES (*Optical Emission Spectroscopy*) [7] dan untuk menghitung *Carbon Equivalent* (C eq), seperti pada Tabel 13. Sedangkan proses perlakuan panas yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 16.

Gambar 16. Proses Perlakuan Panas

3.2. Analisis Pemeriksaan Struktur Mikro

Pemeriksaan struktur mikro dilakukan pada *annealed conditions* (*As-Received*) untuk mengetahui proses yang terjadi sebelumnya dan *treated conditions* atau setelah proses perlakuan panas untuk melihat perbedaan morfologi dan fasa yang terbentuk.

Pemeriksaan struktur mikro *as-received* bertujuan untuk mengetahui fasa yang terbentuk setelah proses *annealed*, setelah diamati di bawah *optical microscope*, fasa yang terbentuk adalah pearlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$) dengan warna hitam berbintik yang halus berserabut dan karbida berwarna putih terang dengan panjang karbida 2-8 kali dari lebarnya yang mengikuti arah proses *rolling*, yang terbentuk selama proses solidifikasi, yang terdiri dari *primary carbide* dan *secondary carbide*, distribusi *primary carbide* tidak seragam dan cenderung berkumpul pada satu tempat sedangkan distribusi *secondary carbide* lebih seragam.

Pemeriksaan struktur mikro *Treated* juga bertujuan untuk mengetahui fasa yang terbentuk setelah proses perlakuan panas. Karbida yang terbentuk setelah proses perlakuan panas, terutama setelah dilakukan proses temper, terdiri dari *primary carbide*, berukuran $>5\mu\text{m}$ dan *secondary carbide* yang terbagi kedalam dua tipe, yaitu *large secondary carbide* berukuran $1-5\mu\text{m}$ dan *small secondary carbide* berukuran $<1\mu\text{m}$. Selain dipengaruhi oleh komposisi kimia masing-masing spesimen, terbentuknya karbida juga dipengaruhi oleh proses perlakuan panas, terutama pemilihan temperatur pada proses temper [8].

Pada saat proses temper, jumlah dislokasi dan distorsi lattice berkurang dan akan memberikan *driving force* pada karbon dan unsur paduan lainnya untuk berdifusi sehingga terjadi pengintian *small secondary carbide*. [7]. Perubahan struktur mikro pada *As-Received* dan *Treated* terletak pada ukuran dan jumlah *coarse primary carbide*. Setelah proses perlakuan panas (*treated*) jumlah *coarse primary carbide* berkurang tetapi jumlah *primary carbide* bertambah, selain itu ukuran *secondary carbide* menjadi lebih kecil. Matrix martensit temper pada spesimen *treated* juga semakin bertambah banyak.

Pada spesimen J1 *As-Received*, bagian yang berwarna hitam berbintik halus dan berserabut merupakan matrix perlit, sedangkan bagian yang berwarna putih berukuran besar merupakan *primary carbide* berukuran antara 5 – 20 μm , ukuran *primary carbide* pada spesimen J1 *As-Received* hampir sama dengan spesimen K1 *As-Received*. Bagian berwarna putih yang berukuran lebih kecil dari *primary carbide* merupakan *secondary carbide* berukuran 1-4 μm .

Pada spesimen J2 *treated*, bagian yang berwarna hitam berbintik halus merupakan matrix martensit temper, yang mengelilingi *primary* dan *secondary carbide* sedangkan bagian yang berwarna putih berukuran besar merupakan *primary carbide* berukuran antara 5 – 20 μm . Bagian berwarna putih yang berukuran lebih kecil dari *primary carbide* merupakan *secondary carbide*, berukuran 1 – 4 μm , setelah proses perlakuan panas pada spesimen J2 *treated* terbentuk *fine secondary carbide* (*small secondary carbide*) dengan bentuk yang spherical (hampir bulat), halus, lebih kecil dari *secondary carbide* berukuran $\leq 2 \mu\text{m}$.

Distribusi *primary carbide* dan *secondary carbide* pada spesimen J1 *as-received* seragam dan distribusi *primary carbide* pada spesimen J2 *treated* juga seragam dengan *secondary carbide* dan *fine secondary carbide* yang dikelilingi matrix martensit temper, distribusi karbida pada spesimen J2 *treated* merupakan perpaduan dari *primary carbide* yang terdistribusi merata dan terbentuknya *newly fine secondary carbide* yang halus dan banyak yang menjadi kelebihan yang dimiliki oleh spesimen J2 *treated* yang nantinya dapat dihubungkan dengan pengujian lain, seperti pengujian aus sehingga dapat dibuktikan mengenai kelebihan dari sifat mekaniknya.

3.3. Analisis Hasil Pengujian Kekerasan *Micro-Vickers*

Pada pengujian kekerasan *micro-vickers* dilakukan indentasi (penekanan) pada spesimen *as-received* (*annealed condition*) dan *treated* (setelah proses perlakuan panas).

Tabel 14. Kekerasan *Micro-Vickers As-Received*

Titik indentasi	C1	K1	J1
1	293	300	272
2	293	278	272
3	285	297	251
4	282	290	247
5	268	290	270
6	268	308	270
7	298	308	270
AVERAGE (HVN)	284	296	265

Tabel 15. Kekerasan *Micro-Vickers Treated*

Titik indentasi	C2	K2	J2
1	757	696	739
2	699	730	696
3	673	710	705
4	705	763	665
5	745	694	696
6	724	678	721
7	688	702	686
AVERAGE (HVN)	713	710	701

Setelah proses perlakuan panas nilai kekerasan pada masing-masing spesimen mengalami peningkatan, spesimen C2 dan K2 memiliki nilai kekerasan tertinggi hal ini disebabkan karena *primary carbide* yang

terbentuk merupakan karbida kasar dengan ukuran 20-60 μm , dengan distribusi yang tidak seragam, sedangkan pada spesimen J2 memiliki nilai kekerasan terendah dibanding dengan spesimen C2 dan K2 yang disebabkan ukuran *primary carbide* yang lebih kecil 5-20 μm dengan *fine-secondary carbide* yang terdistribusi dengan merata. Perbandingan nilai kekerasan antara spesimen *as-received* dan *treated*, setelah proses perlakuan panas terjadi peningkatan nilai kekerasan yang sangat signifikan, nilai kenaikan kekerasan tertinggi diperoleh spesimen J2 *treated*, yaitu mengalami peningkatan kekerasan sebesar 436 HV atau sebesar 62 % sedangkan spesimen C2 dan K2 *treated* mengalami peningkatan kekerasan masing-masing sebesar 426 HV dan 412 HV atau masing-masing sebesar 60% dan 58%.

3.4. Analisis Hasil Pengujian Impak

Pengujian impak dilakukan untuk mengetahui ketangguhan pada masing-masing spesimen, setelah dilakukan pengujian diperoleh nilai impak seperti pada Tabel 16.

Tabel 16. Nilai Impak spesimen *As-Received*

As-Received	
Kode Spesimen	V-Notch Charpy Energy(Joule)
C1	2.81
K1	4.19
J1	4.38

Nilai impak pada spesimen *as-received* tertinggi dihasilkan dari spesimen J1 yaitu 4.38 Joules, spesimen tersebut lebih tangguh dari spesimen lainnya, karena memiliki *secondary carbide* yang relatif terdistribusi dengan merata.

Gambar 17. Foto hasil patahan pada spesimen *As-Received* setelah pengujian impak (a) C1, (b) K1 dan (c) J1

Dari foto hasil patahan pada

Gambar 17, spesimen K1 dan J1 memiliki bentuk patahan berserat (*fibrous*) yang melibatkan mekanisme pergeseran bidang-bidang kristal. Setelah proses perlakuan panas, dilakukan proses pengujian impak untuk mengetahui perbedaan nilai impak sebelum dan sesudah proses perlakuan panas. Setelah dilakukan pengujian impak didapatkan hasil seperti pada Tabel 17.

Tabel 17. Nilai Impak spesimen *Treated*

Treated	
Kode Spesimen	V-notch Charpy Energy (Joule)
C2-IP	3.53
K2-IP	3.63
J2-IP	2.35

Nilai impak tertinggi dihasilkan pada spesimen C2 dan K2 masing-masing sebesar 3.53 J dan 3.63 J, foto patahan dapat dilihat pada Gambar 18, hasil patahan pada spesimen C2 dan K2 merupakan patahan berserat (*fibrous*), sedangkan spesimen J2-IP memiliki patahan granular yang dihasilkan dari pembelahan butir yang getas.

Gambar 18. Foto hasil patahan pada spesimen *Treated* setelah pengujian impact (a) C2, (b) K2 dan (c) J2

Terjadi penurunan harga impact yang cukup signifikan setelah proses perlakuan panas pada spesimen K2 dan J2 sedangkan spesimen C2 mengalami kenaikan harga impact sebesar 0.72 J, sedangkan pada spesimen K2 dan J2 mengalami penurunan harga impact masing-masing sebesar 0.53 J dan 2.03 J. Spesimen J2 merupakan spesimen dengan nilai impact terendah dan mengalami penurunan harga impact tertinggi setelah proses perlakuan panas.

3.5. Analisis Hasil Pengujian Abrasi

Pengujian abrasi dilakukan untuk mengetahui *mass loss* dan *wear rate* dari masing-masing spesimen sehingga dapat mengetahui ketahanan abrasi dari masing-masing spesimen. Setelah dilakukan pengujian abrasi sebanyak 4.500 putaran dengan beban sebesar 5,8 kg dan kecepatan putar 5,3 m/s menggunakan disc yang memiliki kekerasan sebesar 165 BHN.

Kecepatan putaran terendah dihasilkan oleh spesimen J2-WR yaitu 76.88 rpm, semakin rendah kecepatan putaran maka semakin tinggi ketahanannya terhadap keausan, hal ini disebabkan karena *secondary carbide* pada spesimen tersebut relatif banyak dengan distribusi yang seragam, selain itu terbentuk *newly fine secondary carbide* yang terdistribusi dengan seragam yang berfungsi untuk menghalangi terjadinya gesekan (aus). Gambar 4 memperlihatkan spesimen yang telah dilakukan uji abrasi, pada gambar tersebut terlihat spesimen C2 mengalami bekas gesekan yang relatif lebih dalam dari spesimen lainnya, hal ini serupa dengan nilai *mass loss* dan kecepatan putar yang tinggi, spesimen C2 merupakan spesimen yang memiliki ketahanan aus terendah meskipun memiliki nilai kekerasan tertinggi dan nilai impact yang tinggi.

Spesimen C2 memiliki *Mass Loss* tertinggi, yaitu 0.000726 gr/menit, meskipun memiliki nilai kekerasan tertinggi, yaitu 713 HV, hal ini disebabkan oleh distribusi *primary carbide* yang tidak seragam dengan jumlah yang sedikit dan terbentuk *coarse primary carbide* sehingga tidak mampu menghambat proses terjadinya gesekan (aus), selain itu karena ukuran *primary carbide* yang besar, sehingga mekanisme abrasi yang terjadi pada spesimen C2 adalah *fragmentation*, ukuran karbida yang besar memudahkannya terkelupas, dengan ukuran karbida yang besar maka setelah terkelupas, *mass loss* nya akan berkurang secara signifikan, sedangkan pada spesimen K2 dan J2 mengalami *mass loss* yang hampir sama yaitu 0.000439 gr/menit dan 0.000381 gr/menit, hal ini terjadi karena *primary carbide* dan *secondary carbide* yang terbentuk relatif seragam, sehingga mampu menghambat proses terjadinya gesekan (aus), meskipun spesimen K2 memiliki nilai *mass loss* yang hampir sama dengan spesimen J2, spesimen K2 memiliki nilai kecepatan putar yang lebih tinggi dari J2, sehingga jika dibandingkan, maka spesimen J2 merupakan spesimen yang memiliki *mass loss* yang rendah sekaligus kecepatan putar yang rendah, yaitu 0.000381 gr/menit sehingga menghasilkan ketahanan abrasi yang tertinggi.

Nilai kekerasan tidak bisa dihubungkan dengan ketahanan abrasi pada spesimen AISI D2, karena ketahanan abrasi pada spesimen AISI D2 dipengaruhi oleh ukuran dan bentuk karbida dan mekanisme terjadinya keausan abrasi, seperti terlihat pada struktur mikro penampang setelah dilakukan pengujian abrasi pada bagian spesimen yang mengalami keausan.

Gambar 19. Spesimen hasil pengujian aus

Karbida yang terbentuk pada spesimen C2 dan K2 ukurannya lebih besar Karbida yang terbentuk pada spesimen C2 dan K2 ukurannya lebih besar dan jumlahnya lebih sedikit dari pada spesimen J2, sehingga spesimen tersebut tidak dapat menahan terjadinya gesekan pada proses pengujian abrasi, nilai *mass loss* spesimen C2 adalah 0.0313 yang merupakan *mass loss* tertinggi diantara spesimen lainnya, artinya spesimen tersebut lebih mudah mengalami aus, hal ini diakibatkan oleh karbida yang dapat menahan gesekan hanya sedikit dan matrix martensit temper yang jumlahnya lebih banyak tidak mampu menahan gesekan, karena sifatnya yang lebih lunak dari karbida

Spesimen K2 dan J2 memiliki nilai mass loss yang hampir sama yaitu 0.0207 gr dan 0.0215 gr dan kecepatan putar masing-masing 98.88 rpm dan 76.88 rpm. Pada struktur mikro K2 jumlah karbida yang dimiliki relatif banyak hampir sama dengan jumlah karbida pada spesimen J2, tetapi spesimen J2 memiliki primary carbide berukuran kecil ($5-25\ \mu\text{m}$), tidak terdapat coarse primary carbide dan terdapat fine secondary carbide yang lebih banyak dan seragam di sekeliling matrix martensit temper, yang berfungsi untuk menahan gesekan, sehingga struktur mikro cross section seperti terlihat pada gambar 5 pada bagian permukaannya relative rata, sedangkan pada bagian permukaan spesimen K2 lebih bergelombang karena terdapat coarse primary carbide yang berukuran $60\ \mu\text{m}$ dan karbida yang menahan gesekan hanya primary dan secondary carbide yang jumlahnya lebih sedikit dari spesimen J2. Hal ini setara dengan kecepatan putarnya, pada spesimen J2 kecepatan putar nya adalah 76.88 rpm sedangkan spesimen K2-CS adalah 98.99 rpm, semakin kecil kecepatan putarnya semakin tinggi ketahanan ausnya, meskipun material J2 memiliki nilai kekerasan yang terendah yaitu 701 HV. Hal ini sekaligus membuktikan bahwa spesimen J2 memiliki ketahanan aus tertinggi di banding spesimen K2 dan C2.

Gambar 20. a) struktur mikro cross section setelah proses pengujian aus (a) C2-CS, (b) K2-CS dan (c) J2-CS.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, adapun saran untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan variasi waktu pengadukan dan kecepatan pengadukan untuk melihat ada atau tidak pengaruh dari waktu dan kecepatan pengaduknya.
2. Perlu dilakukan peninjauan kembali apabila akan menggunakan koagulan untuk skala yang lebih besar, baik aspek lingkungan maupun biayanya.
3. Melakukan pengujian karakteristik dan muatan flok yang terbentuk saat flokulasi.

5. Daftar pustaka

- [1] Singh, K., Kartikhar, K. R., Sapate, G. S., (2015) : Microstructure evolution and abrasive wear behaviour of D2 steel, J Wear, 328-329, 206-216.
- [2] ASTM E.95. Metalography examination, edited by ASTM International, 2007.
- [3] ASTM E.384. Micro Vickers, edited by ASTM International, 2007.
- [4] ASM Vol. 10. Material Characterization 9 th Edition, USA : ASM International, 1992.
- [5] ASTM E.23. Impact Test, edited by ASTM International, 2007.
- [6] JIS, Japan Industrial Standard, JIS G 4404 alloy tool steels, ICS.25.100.01;77.140.35, 2006.
- [7] Analytical workshop, centre of microscope and analysis, CMA, 2012
- [8] Microstructure and mechanical properties of AISI D2 steel after bright hardening and oil quenching, J.Materials and design, 54, 1049-1055.