

Investigasi Material Baru Sebagai Pengganti *Part Dies Import*

Moch. Chamim¹, Kaleb Priyanto², Dio Agusta P.³

Teknik Mesin-Akademi Teknologi Warga Surakarta

mchamim1@gmail.com

ABSTRACT

The special material used as a stamping process (dies) cutting tool is currently needed by the manufacturing industry. Many companies use import materials as part of the production process even though many of the same material properties are found in the domestic market. The purpose of this study is to observe changes in the microstructure and improvement in mechanical properties of imported dies and SKD-11 steel components as a replacement. This research was carried out by heating SKD-11 steel specimens to austenitic temperature of 850oC with holding time for 1 hour and 2 hour then cooled with water. The specimens that have been subjected to heating and cooling are then subjected to rigorous and microstructure testing. Microstructure observation results show that the longer the holding time, there are more martensitic carbide content which can result in harder material. The results of SKD-11 steel hardness testing without heat treatment (224.3 HV), with a holding time for 1 hour (559.7 HV), and for 2 hours (580.9 HV). The hardness test results show that with increasing holding time the hardness value will rise and reach the highest value at a holding time of 2 hours (580.9 HV). The conclusion from the data shows that SKD-11 steel experienced an increase in violence but could not match the hardness value of imported dies materials.

Keywords: *Dies Material, Harden, Heat treatment, SKD-11.*

I. PENDAHULUAN

Ilmu pengetahuan dan teknologi berkembang sangat pesat terutama dibidang *manufakturing* dalam proses pembentukan dan pemotongan. Proses pembentukan dan pemotongan lembaran pelat merupakan suatu proses yang digunakan pada mesin *press* untuk menghasilkan bentuk suatu benda kerja dengan menggunakan sepasang alat potong *punch* dan *dies*. Pada industri *manufaktur* hal ini menjadi masalah yang sangat penting karena dalam proses *manufaktur* banyak sekali kendala yang harus dipecahkan agar tercipta suatu produk yang bermutu tinggi.

Proses *manufacturing* dikenal berbagai macam proses, salah satunya adalah *metal forming processes* (proses pembentukan). *Metal forming processes* dalam *manufacturing* adalah proses pemberian tekanan pada pelat datar menurut permukaan *design die* sampai pada titik deformasi plastis pelat tersebut, sehingga terbentuklah komponen yang baru sesuai dengan *design* permukaan *die*. Namun pada proses ini juga masih banyak ditemui fenomena cacat (*forming defect*) akibat deformasi (Groover M.P, 2002).

Sheet Metal Forming adalah salah satu bagian dari proses produksi dimana dalam proses pembuatannya menggunakan *sheet metal* atau

lembaran pelat sebagai material, *pressing dies* sebagai cetaknya serta menggunakan mesin *press* sebagai mesin pemrosesnya. Hasil yang didapatkan dari proses ini adalah *sheet metal part* atau biasa dikenal dengan nama *pressed part*. Dalam dunia otomotif baik kendaraan roda dua maupun kendaraan roda empat atau lebih, industri elektronik bahkan di industri berat seperti industri kapal dan pesawat, *pressed part* merupakan satu bagian yang sangat penting dan penggunaannya cukup besar dan fungsinya belum dapat tergantikan oleh komponen lain karena sifat-sifatnya itu (Ostergaard, E.D., 1963).

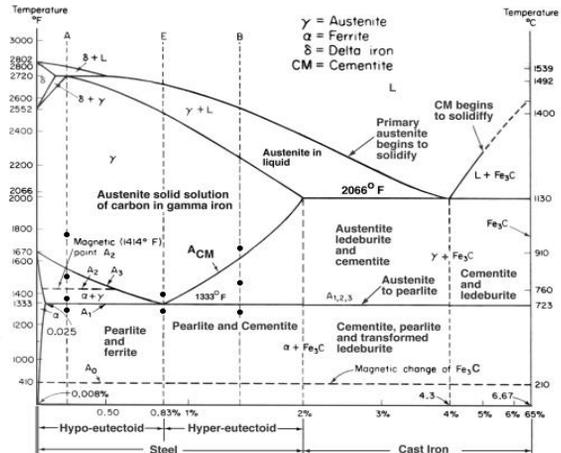
Penelitian ini dapat bertujuan untuk menganalisa struktur baru sebagai pengganti impor. Hasil dari penelitian ini dapat sebagai referensi perusahaan *sheet metal process* untuk komponen *dies* dengan standar yang mendekati propertis material impor.

II. TINJAUAN PUSTAKA

“Baja adalah salah satu logam ferro yang banyak digunakan dalam dunia teknik dan industri. Kandungan baja yang utama diantaranya yaitu besi dan karbon. Kandungan besi (Fe) pada baja sekitar 97% dan karbon (C) sekitar 0,2% hingga 2,1% sesuai *grade*. Selain unsur besi (Fe) dan karbon (C), baja mengandung unsur lain seperti mangan (Mn) dengan kadar maksimal 1,65%, silikon (Si) dengan kadar maksimal 0,6%, tembaga (Cu) dengan kadar maksimal 0,6%, sulfur (S), fosfor (P) dan lainnya dengan jumlah yang dibatasi dan berbeda-beda (Wulandari, 2011)”.

A. Diagram Fasa Fe-C

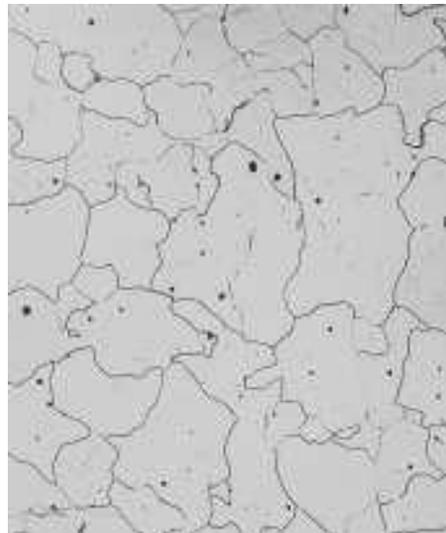
Diagram Fe-C adalah diagram yang menampilkan hubungan antara temperatur dimana terjadi perubahan fasa selama proses pendinginan lambat dan pemanasan lambat dengan kandungan karbon (%C).



Gambar 1. Diagram fasa (ASM Handbook Vol.4, 1991).

1) Ferit atau besi alfa (α)

Ferit merupakan suatu larutan padat karbon dalam struktur besi murni yang memiliki struktur BCC dengan sifat lunak dan ulet. Karena ferit memiliki struktur BCC (*Body Centered Cubic*), maka ruang antar atom-atomnya adalah kecil dan padat sehingga atom karbon yang dapat tertampung hanya sedikit sekali sekitar 0,02% C. Fasa ferit mulai terbentuk pada temperatur antara 300°C hingga mencapai temperatur 727°C.



Gambar 2. Struktur mikro fasa ferit (Callister, 2007)

2) Austenit atau besi gamma

Austenit adalah modifikasi struktur besi murni dengan struktur FCC (*Face Centered Cubic*) yang memiliki jarak atom lebih besar dibandingkan dengan ferit. Meskipun demikian, rongga-rongga pada struktur FCC hampir tidak dapat menampung atom karbon dan penyisipan atom karbon akan mengakibatkan tegangan dalam struktur sehingga tidak semua rongga dapat terisi, dengan kata lain daya larutnya menjadi terbatas sekali.



Gambar 3. Struktur mikro fasa austenit
(Callister, 2007)

a. Karbida besi atau sementit

Karbida besi adalah paduan besi karbon, dimana pada kondisi tersebut karbon melebihi batas larutan sehingga membentuk fasa kedua atau karbida besi yang memiliki komposisi Fe_3C . Karbida pada ferit akan meningkatkan kekerasan pada baja. Akan tetapi karbida besi murni tidak liat, karbida ini tidak dapat menyesuaikan diri dengan adanya konsentrasi tegangan, oleh karena itu kurang kuat. Kekerasan sementit adalah 800 HVN (Yogantoro, 2010).



Gambar 4. Struktur mikro fasa sementit
(Callister, 2007)

b. Perlit

Perlit merupakan campuran antara ferit dan sementit yang berbentuk seperti pelat-pelat yang disusun secara bergantian antara sementit dan ferit. Fasa perlit ini terbentuk pada saat kandungan karbon mencapai 0,76% C, besi pada fase perlit akan memiliki sifat keras, ulet dan kuat.



Gambar 5. Struktur mikro fasa perlit
(Callister, 2007)

c. Martensit

Martensit adalah suatu fasa yang terjadi karena pendinginan yang sangat cepat. Jenis fasa martensit tergolong kedalam bentuk struktur kristal BCT (*Body Centered Tetragonal*). Pada fase ini terjadi proses difusi hal ini dikarenakan terjadinya pergerakan atom secara serentak dalam waktu yang sangat cepat sehingga atom yang tertinggal pada saat terjadi pergeseran akan tetap

berada pada larutan padat. Besi yang berada pada fase martensit akan memiliki sifat yang kuat dan keras, akan tetapi besi ini juga bersifat getas dan rapuh.



Gambar 6. Struktur mikro fasa martensit (Callister, 2007)

B. Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

“Perlakuan panas didefinisikan sebagai perpaduan antara proses pemanasan, penahanan temperatur dan pendinginan. Perlakuan panas terdiri atas dua kategori yaitu pelunakan (*softening*) dan pengerasan (*hardening*). Pelunakan adalah usaha menurunkan sifat mekanik dengan mendinginkan material yang sudah dipanaskan dalam tungku (*annealing*) atau udara terbuka (*normalizing*) sedangkan pengerasan adalah usaha meningkatkan sifat material terutama kekerasan dengan cara pendinginan secara cepat (*quenching*) (Haryadi, 2005)”.

C. *Hardening* (Pengerasan)

“*Hardening* dilakukan dengan memanaskan suatu bahan diatas suhu transformasi (723°C) kemudian didinginkan secara cepat, melalui media pendingin seperti air, oli atau media pendingin lainnya. Tujuannya adalah untuk mengeraskan bahan. Pengertian pengerasan ialah perlakuan panas terhadap baja dengan sasaran meningkatkan kekerasan baja alami. Faktor penting yang dapat mempengaruhi proses *hardening* terhadap kekerasan baja yaitu oksidasi udara. Selain berpengaruh terhadap besi, oksigen dalam udara berpengaruh terhadap karbon terikat

sebagai sementit atau yang larut dalam austenit. Oleh karena itu, pada benda kerja dapat terbentuk lapisan oksidasi selama proses *hardening*. Pencegahan kontak dengan udara selama pemanasan atau *hardening* dapat dilakukan dengan jalan menambah temperatur yang tinggi karena bahan yang terdapat dalam baja akan bertambah kuat terhadap oksigen. Jadi semakin tinggi temperatur, semakin mudah untuk melindungi besi terhadap oksidasi (Schonmetz, 1985)”.



Gambar 7 Proses *hardening*.

D. *Holding Time*

“*Holding time* merupakan waktu penahanan yang dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses *hardening* dengan menahan pada suhu pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen sehingga struktur austenitnya homogen atau terjadi kelarutan karbida ke dalam austenit dan difusi karbon dan unsur paduannya. Pada baja umumnya perlu dilakukan waktu penahanan, karena pada saat austenit masih merupakan butiran halus dan kadar karbon serta unsur paduannya belum homogen dan terdapat karbida yang belum larut. Baja perlu dipanaskan pada temperatur tetap (temperatur austenit) untuk memberikan kesempatan larutnya karbida dan lebih homogenya austenit. Waktu pemanasan

suhu dapat dilakukan pada saat suhu dapur atau *furnace* telah mencapai suhu panas yang dikehendaki guna memberi kesempatan penyempurnaan bentuk kristal yang terbentuk pada suhu transformasi (Nur dkk, 2005)”.

E. Uji kekerasan

“Uji kekerasan *vickers* menggunakan indenter piramida intan yang pada dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besar sudut antar permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136° . Nilai ini dipilih karena mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan *brinell* (Dieter, 1987). Angka kekerasan *vickers* didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya, luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak.

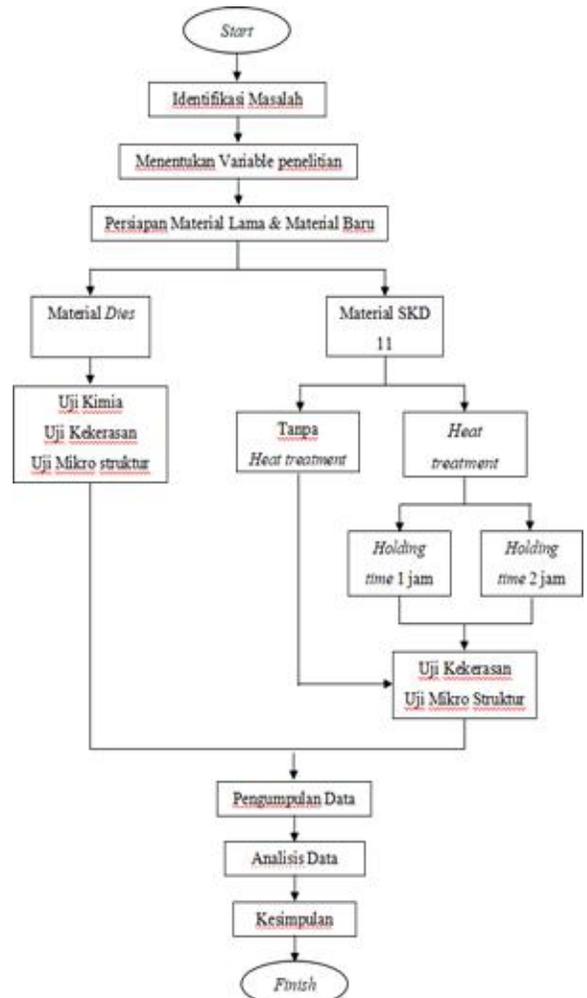
Kekerasan dapat diperoleh dengan melakukan perlakuan panas yang disertai pendinginan yang cepat. Pemanasan diatas suhu kritis kemudian disusul pendinginan yang cepat akan membentuk fasa martensit yang bersifat sangat keras dan getas”.

F. Struktur Mikro

“Uji struktur mikro bertujuan untuk melihat dan menganalisis jenis dan bentuk struktur mikro setelah mengalami proses perlakuan panas (*heat treatment*) agar dapat membandingkan struktur mikro antara sebelum dan sesudah dilakukannya perlakuan panas (Sardjono, 2009)”.

III. METODOLOGI

Proses penelitian ini menganalisa struktur material *dies* impor dengan material baru terhadap uji kekerasan & struktur mikro. Tahapan penelitian dapat dilihat dari *flow chart* proses penelitian sebagai berikut :



Gambar 8. Diagram flowchart

Variabel bebas yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Bahan yang digunakan adalah material SKD-11 (dimana material tersebut memiliki kadar 1,4-1,6 % karbon dan 11-13 % krom) dan material *dies import* (produk WILSON Amerika).
2. Lama waktu pemanasan hingga mencapai suhu 850°C dengan *holding time* selama 1 jam dan 2 jam.

Adapun variabel terikat yang digunakan adalah uji kekerasan dan struktur mikro.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Uji Komposisi Kimia

Uji komposisi dilakukan bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur kimia yang terdapat pada material *dies import*. Uji komposisi kimia material *Dies Import* dilakukan di PT. BAJA KURNIA dibandingkan dengan JIS G4404 untuk SKD-11. Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 1. Data uji komposisi kimia material

Unsur	Weight % <i>Dies import</i>	Weight % SKD-11
Fe	84	balance
C	1.53	1.4-1.6
Si	0.299	0.4 max
Mn	0.209	0.6 max
P	<0.010	0.03 max
S	<0.005	0.03 max
Cr	12.2	11-13
Mo	0.361	0.8-1.2
Ni	0.0240	-
V	0.861	0.2-0.5
W	0.277	-

B. Pengujian Kekerasan Vickers.

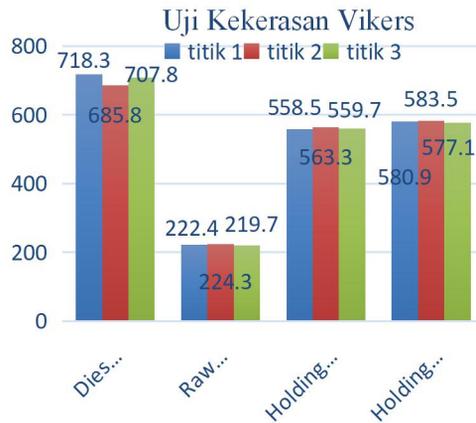
Hasil pengujian kekerasan *vickers* :

Tabel 2 Hasil pengujian kekerasan

Sampel	Kekerasan HV
<i>Dies Import</i>	707,8
Raw material SKD 11	224,3
Hardening time 1 jam	559,7
Hardening time 2 jam	580,9

Dari pengujian kekerasan dapat dilihat bahwa nilai kekerasan material *dies import* (707,8 HV) dan material pembanding (baja SKD-11) tanpa perlakuan panas/raw material (224,3 HV) setelah mengalami perlakuan panas terjadi kenaikan nilai kekerasan. Kekerasan baja SKD-11 dengan *hardening* suhu 850°C dengan *holding time* selama 1 jam (559,7 HV), dan selama 2 jam (580,9 HV). Ini berarti bahwa kekerasan baja SKD-11 yang telah di perlakuan panas dengan nilai kekerasan yang paling tinggi (580,9 HV) dengan *holding time* selama 2 jam belum bisa

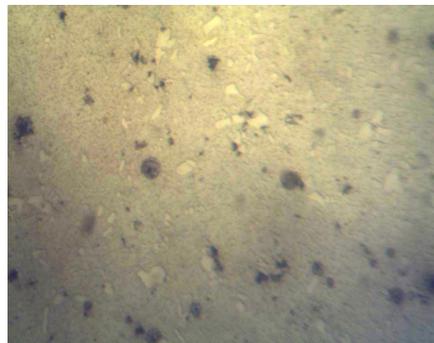
menyamai nilai kekerasan pada material *dies wilson*. Berikut ini data hasil uji kekerasan *vickers*:



Gambar 9. Data hasil uji kekerasan vickers

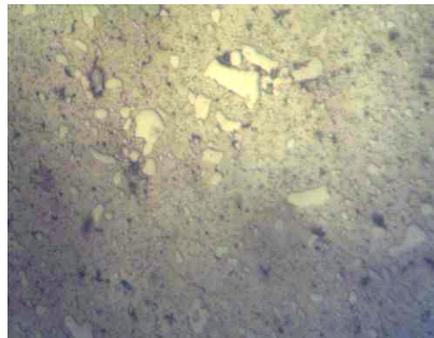
C. Pengamatan Struktur Mikro

Hasil pengamatan struktur mikro pada *dies wilson* dapat dilihat pada gambar 4.3 sampai gambar 4.13 dibawah ini :



Gambar 10. Struktur dies import 20x

Keterangan: putih - ferit, bulat-bulat karbida.



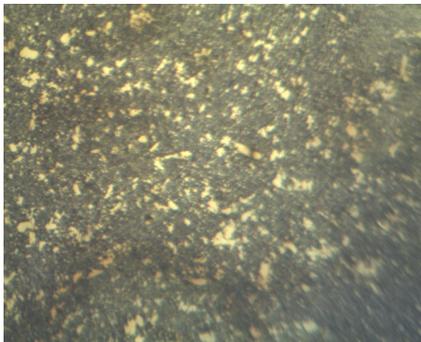
Gambar 11. Struktur dies import 50x

Keterangan: putih - ferit, bulat-bulat karbida.



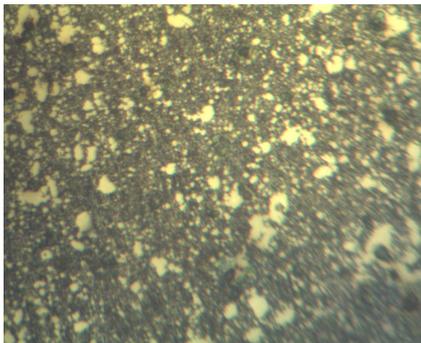
Gambar 12. Struktur dies import 100x

Keterangan: putih - ferit, bulat-bulat karbida.



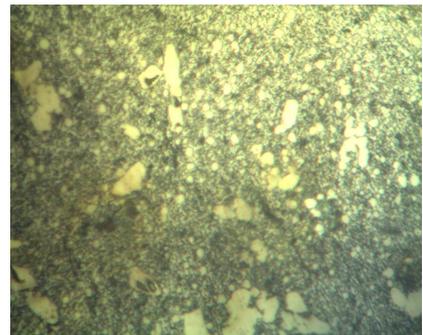
Gambar 13. Struktur mikro SKD11 sebelum hardening pembesaran 20X

Keterangan: putih - ferit, hitam - karbida.



Gambar 14. Struktur mikro awal SKD-11 sebelum hardening 50X

Keterangan: putih - ferit, hitam - karbida.



Gambar 15. Struktur mikro awal SKD-11 sebelum hardening 100X

Keterangan: putih - ferit, hitam - karbida.



Gambar 16. Struktur SKD-11 setelah hardening holding 1 jam 20X

Keterangan: putih - ferit, bulat-bulat karbida.



Gambar 17. Struktur SKD-11 setelah hardening holding 1 jam 50X

Keterangan: putih - ferit, bulat-bulat karbida.



Gambar 18. Struktur SKD-11 setelah hardening holding 1 jam 100X

Keterangan: putih - ferit, bulat-bulat karbida.



Gambar 19. Struktur SKD-11 setelah hardening holding 2 jam 20X

Keterangan: putih - ferit, bulat-bulat karbida.



Gambar 20. Struktur SKD-11 setelah hardening holding 2 jam 50X

Keterangan: putih - ferit, bulat-bulat karbida.



Gambar 21. Struktur SKD-11 setelah hardening holding 2 jam 100X

Hasil pengamatan struktur mikro terdapat fasa berwarna putih - ferit, dan muncul krom karbida dengan model *lamelar*.

D. Pembahasan

Hasil pengujian komposisi kimia *Dies Import* terlihat elemen Cr yang tinggi sebagai elemen utama untuk proses pengerasan sebagaimana terlihat pada tabel 4.1. Standar JIS G4404 memberikan acuan dengan kandungan standar elemen Cr antara 11-13 % dari berat material. Elemen Cr tinggi akan membentuk fasa keras saat proses solidifikasi.

Struktur mikro hasil pengujian, jika dibandingkan SKD-11 sebelum *hardening* dengan sesudah *hardening* untuk kondisi sesuai dan terdiri atas ferit dan karbida. Karbida yang ada adalah karbida krom. Yang membedakannya adalah kondisi setelah *heat treatment* karbida yang cenderung lebih halus dan proses distribusinya yang tersebar lebih merata. Jika melihat struktur mikro SKD-11 untuk proses *hardening* dengan *holding time* 2 jam strukturnya lebih halus dan distribusinya pun terlihat lebih merata dibandingkan dengan proses *hardening* dengan *holding time* 1 jam. Struktur mikro SKD-11 hasil pengujian, jika dibandingkan dengan *dies import*, untuk kondisi awalnya sesuai dan terdiri atas ferit dan karbida. Karbida yang ada adalah karbida chrom. Struktur mikro awal SKD-11 terlihat sama jenisnya baik dengan struktur mikro *dies import*. Yang

membedakannya adalah kondisi dari karbida yang cenderung lebih halus dan proses distribusinya yang tersebar lebih merata. Dan kondisi ini dapat menyebabkan naiknya nilai keras.

Pengujian kekerasan dapat dilihat Gambar 4.3 bahwa nilai kekerasan material *dies import* (707,8 HV). Dan material pembanding (baja SKD-11) tanpa perlakuan panas *raw material* (224,3 HV) dan di lakukan perlakuan panas terjadi kenaikan nilai kekerasan. Kekerasan baja SKD-11 dengan *hardening* suhu 850°C dengan *holding time* 1 jam (559,7 HV), dan 2 jam (580,9 HV). Ini berarti bahwa kekerasan baja SKD-11 yang telah di perlakuan panas dengan nilai kekerasan yang paling tinggi (580,9 HV) dengan *holding time* selama 2 jam belum bisa menyamai nilai kekerasan pada material *dies import*.

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan analisis dapat diambil kesimpulan sebagai berikut

1. SKD-11 dan *dies import* mempunyai struktur mikro dengan jenis yang sama, yang berbeda adalah kehalusan dan distribusi dari struktur-struktur tersebut, dengan kondisi struktur mikro *dies import* mempunyai struktur karbida yang lebih halus dan lebih terdistribusi secara merata. kondisi ini dapat menyebabkan naiknya nilai keras.
2. Dari pengujian kekerasan dapat dilihat bahwa nilai kekerasan material *dies import* (707,8 HV). Dan material pembanding (baja SKD-11) tanpa perlakuan panas/*raw material* (224,3 HV) dan di lakukan perlakuan panas terjadi kenaikan nilai kekerasan. Kekerasan baja SKD-11 dengan *hardening* pada suhu 850°C dengan *holding time* 1 jam (559,7 HV), dan *holding time* 2 jam (580,9 HV). Ini berarti bahwa kekerasan baja SKD 11 yang telah di perlakuan panas dengan nilai kekerasan yang paling tinggi (580,9 HV) dengan *holding time* selama 2 jam belum bisa menyamai nilai kekerasan pada material *dies import*.

REFERENSI

- Amanto, H., 1999. Ilmu Bahan. Jakarta, Bumi Angkasa.
- Amstead, B.H., 1993. Teknologi Mekanik. Jakarta, Erlanga
- ASM Handbook. 1991. *Heat Treating*. ASM Handbook Committee. Volume 4. Page 17.
- ASM Handbook. 1993. *Properties and Selection: Iron Steels, and High Performance Alloys*. Metals handbook. Volume 1. Page 249 - 327.
- Callister, W. D. 2007. *Material Science and Engineering 7th*. John Wiley & Sons, Inc. Kanada.
- Dalil, M. Prayitno, A dan Inonu, I. 1999. Pengaruh Perbedaan Waktu Penahanan Suhu Stabil (*Holding time*) Terhadap Kekerasan Logam. Jurnal Natur Indonesia. Volume 2. Nomor.1. Halaman 12-17.
- Davis, H, E., 1982, *The Testing of Engineering Materials*, Mc Graw Hill Inc., Auckland.
- Dieter, G., terjemahan oleh Sriati Djaprie, 1987, Metalurgi Mekanik, Jilid 1, edisi ketiga, Erlangga, Jakarta.
- Groover M.P. 2002. *Fundamentals of Modern Manufacturing, Materials, Processes and System*. Second Edition, John Wiley & Sons, Inc.
- Haryadi, G. D. 2005. Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan Struktur Mikro Dan Kekuatan Tarik Pada Baja K-460. Jurnal Teknik Mesin Rotasi. Vol. 7. No. 3. Hal: 35.
- Haryadi, G.D. 2006. Pengaruh Suhu *Tempering* Terhadap Kekerasan, Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Pada Baja K-460. Jurnal Teknik Mesin. Volume 8. No.2. Halaman 1-8.
- Hermawan, O.W. Analisis Struktur Mikro Dan Sifat Mekanis Komponen *Stud Pin Winder*

- Baja Skd-11 Yang Mengalami Perlakuan Panas Disertai Pendinginan Nitrogen, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, 2015.
- Indarto, D. 2009. Pengaruh Waktu Tahan Proses *Hot Dipping* Baja Karbon Rendah terhadap Ketebalan Lapisan, Kekuatan Tarik dan Harga Impak dengan Bahan Pelapis Aluminium. Tugas Akhir Teknik Mesin. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- JIS, JIS G4404 - 2000, *Alloy Tool Steels*, 2000, Tokyo, Jepang: Japanese Standard Association.
- Mulyadi dan Sunitra, Eka. 2010. Kajian Perubahan Kekerasan dan Difusi Karbon Sebagai Akibat Proses dari Proses Karburisasi dan Proses *Quenching* pada Material Gigi Perontok Power Thresher. *Jurnal Teknik Mesin*. Volume 7. Nomor 1. Halaman 33-49.
- Mulyanti, 1996. Pengaruh Kadar Mangan (Mn) Dan Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Paduan Baja Mangan Austenit, Universitas Indonesia. Jakarta. Halaman 75-78.
- Nur, I. Junaidi dan Hanwar, O. 2005. Analisis Pengaruh Media Pendingin Dari Proses Perlakuan Panas Terhadap Kekuatan Sambungan Pegas Daun Dengan Las Smaw. *Jurnal Teknik Mesin*. Volume 2. Nomor 1. Halaman 18-23.
- Ostergaard, E.D., 1963 *Basic Die Making*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Sack, Raymond J. 1997. *Welding: Principles and Prantices*. Mc Graw Hill. USA.
- Sardjono KP, Koos. 2009. Pengaruh *Hardening* pada Baja JIS G 4051 Grade S45C Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*. Volume 11. Nomor 2. Halaman 95-100.
- Schonmetz, Alois Karl Gruber. 1985. Pengetahuan Bahan dalam Pengerjaan Logam. Aksara. Bandung.
- Sebayang, M.D., and Gultom, A.G. Studi Analisa Material Dan *Desain* Produk Perkakas Tangan. Christian University of Indonesia. Jakarta. 2017.
- Suratman, R. 1994. Paduan Proses Perlakuan Panas. Lembaga Penelitian Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Surdia, T., & Shinroku, S. (1992). Pengetahuan Bahan Teknik. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Sulamet-Ariobimo, R.D., Pengaruh Suhu *Tempering* Terhadap Skd 11 Mod., *Mesin-Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 2006, Vol. 8, No. 3
- Tarkono, Siahaan, G. Dan Zulhanif, 2012. Studi Penggunaan Elektroda Las Yang Berbeda Terhadap Sifat Mekanik Pengelasan Smaw Baja Aisi1045. *Jurnal Mechanical* 3.
- Wardoyo, J.T. 2005. Metode Peningkatan Tegangan Tarik dan Kekerasan Pada Baja Karbon Rendah Melalui Baja Fasa Ganda. *Jurnal Teknik Mesin*. Volume 10. Nomor 3. Halaman 237-248.
- Wulandari, A. 2011. Studi Ketahanan Korosi H₂ Pada Baja Karbon Rendah Yang Mengalami Canai Hangat 600°C. Skripsi. Jurusan Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia , Depok. Jawa Barat.
- Yogantoro A. 2010. Tugas Akhir: Penelitian Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan *Low Tempering*, *Medium Tempering* dan *High Tempering* pada Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketangguhan. UMS. Surabaya

Cheng G, Chau J,”Exploring the relationships between learning styles, online participation, learning achievement and course satisfaction: An empirical study of a blended learning course”,*British Journal of Educational Technology*,2016

Ghozali, Imam (2005), *Model Persamaan Struktural: Konsep dan Aplikasi dengan Program AMOS Ver.5.0* , Badan Penerbit Undip, Semarang.

J. Cheon, S. Lee, S. M. Crooks, and J. Song, “An investigation of mobile learning readiness in higher education based on the theory of planned behavior,” *Comput. Educ.*, vol. 59, no. 3, pp. 1054–1064, 2012.

J. Gikas and M. M. Grant, “Mobile computing devices in higher education: Student perspectives on learning with cellphones, smartphones & social media,” *Internet High. Educ.*, vol. 19, pp. 18–26, 2013.

Yilma. R,”Exploring the role of e-learning readiness on student satisfaction and motivation in flipped classroom”,*Computer in Human Behavior*,2017