

**STUDI PENGARUH PERLAKUAN PANAS TERHADAP STRUKTUR MIKRO  
DAN SIFAT MEKANIS BAJA SKD-11 YANG DIGUNAKAN PADA  
KOMPONENSTUD PIN WINDER**

Rizki Bimo Aji, Tri Widodo Besar Riyadi, Pramuko Ilmu Purboputro  
Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl. A. Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartasura  
email : [rizkibimoaji@gmail.com](mailto:rizkibimoaji@gmail.com)

**ABSTRAKSI**

Industri pembuatan benang, garmen dan tekstil di Indonesia banyak menggunakan mesin-mesin pemintal benang buatan luar negeri. Sehingga bila ada kerusakan harus mendatangkankomponen-komponen mesin dari negara asal pembuat dan membutuhkan waktu yang lama dalam pengadaan barang serta menanggung biaya yang tinggi pula. Oleh karena itu industri dalam negeri membutuhkan ketersediaan komponen tersebut, agar dalam proses perbaikan dan perawatan dapat dilakukan dengan cepat dan menekan biaya produksi. Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi material bajaSKD-11 melalui proses perlakuan panas dengan cara normalizing dan tempering. Dalam penelitian ini dilaksanakan dengan cara memanaskan material hingga temperatur austenit 1000°C dengan waktu penahanan 2 jam dan didinginkan di udara terbuka. Kemudian dilakukan tempering dengan variasi temperatur 200°C, 300°C, 500°C, 550°C, 600°C dengan waktu penahanan 1 jam. Kemudian dilakukan pengujian kekerasan, impak (ketangguhan), dan struktur mikro. Hasil dari pengujian menunjukkan nilai kekerasan tertinggi ada pada sampel baja SKD 11 dengan proses annealing yaitu sebesar 75,4 HRC dan terendah ada pada sampel baja SKD 11 dengan variasi temperatur tempering 550°C sebesar 50 HRC, serta baja SKD 11 yang tidak mengalami proses perlakuan panas sebesar 36,19 HRC. Pada uji impact nilai ketangguhan stud pin original sebesar 1,76 J/mm<sup>2</sup>, nilai ketangguhan tertinggi pada sampel material baja SKD 11 tanpa melalui proses perlakuan panas yaitu sebesar 0,14 J/mm<sup>2</sup> dan nilai ketangguhan terendah ada pada sampel material baja SKD 11 dengan variasi temperatur tempering 550°C sebesar 0,05 J/mm<sup>2</sup>. Berdasarkan studi lapangan bahwa stud pin patah karena gaya impact, maka baja SKD 11 tidak bisa menggantikan stud pin original.

Kata kunci : Stud Pin, Heat Treatment, Baja SKD-11

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi di dunia industri menuntut peningkatan efisiensi, produktivitas, serta keandalan mesin produksi. Hal ini juga berlaku pada industri tekstil, di mana mesin *winder* masih banyak digunakan untuk proses pemintalan dan penggulungan benang. Mesin ini berfungsi menggulung benang dalam jumlah banyak secara otomatis, sehingga peran operator hanya sebatas pengawasan dan pengendalian proses penggulungan.

Salah satu komponen penting dalam sistem kerja mesin *winder* adalah *stud pin*, yaitu poros pengunci yang berfungsi menahan bobbin agar tidak bergerak selama proses penggulungan berlangsung. Kebutuhan akan *spare part stud pin* di industri tekstil, khususnya di PT. Asia Pasific Fibers, Tbk, terus meningkat setiap tahun. Namun, hingga kini ketersediaannya masih bergantung pada produk impor dari Jepang. Kondisi tersebut menyebabkan proses pengadaan menjadi lama, memerlukan waktu *indent* hingga 3–6 bulan, serta biaya yang tinggi.

Upaya penggantian dengan produk lokal telah dilakukan untuk mengurangi ketergantungan terhadap komponen impor. Namun, kualitas *stud pin* lokal masih belum sebanding dengan produk asli karena kelemahan pada sifat mekanis materialnya, yang sering menyebabkan kegagalan mendadak akibat patah saat menerima gaya impact. Salah satu cara yang efektif untuk meningkatkan sifat mekanis baja adalah melalui proses perlakuan panas (*heat treatment*), yang dapat mengubah struktur mikro material dan meningkatkan sifat fisis maupun mekanisnya (Amstead dkk., 1981).

Melalui perlakuan panas yang tepat, sifat-sifat baja seperti kekerasan, keuletan, dan ketangguhan dapat diatur sesuai kebutuhan. Proses ini meliputi beberapa tahapan seperti *annealing*, *normalizing*, *quenching*, dan *tempering* (ASM Handbook, 2005). Dalam konteks penelitian ini, material baja SKD-11 dipilih karena memiliki kandungan krom tinggi dan dikenal sebagai baja perkakas dengan ketahanan aus yang baik. Dengan menerapkan perlakuan panas yang sesuai, diharapkan material ini dapat digunakan sebagai alternatif untuk komponen *stud pin* pada mesin *winder* dan memiliki sifat mekanis yang mendekati produk impor.

### 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini merumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh proses perlakuan panas terhadap perubahan struktur mikro baja SKD-11?
2. Bagaimana perbandingan sifat mekanis, khususnya kekerasan dan ketangguhan, antara baja SKD-11 sebelum dan sesudah proses *heat treatment*?
3. Apakah hasil perlakuan panas pada baja SKD-11 dapat menghasilkan karakteristik yang mendekati komponen *stud pin* original yang digunakan pada mesin *winder*?

### 1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang ada penelitian ini berkonsentrasi pada:

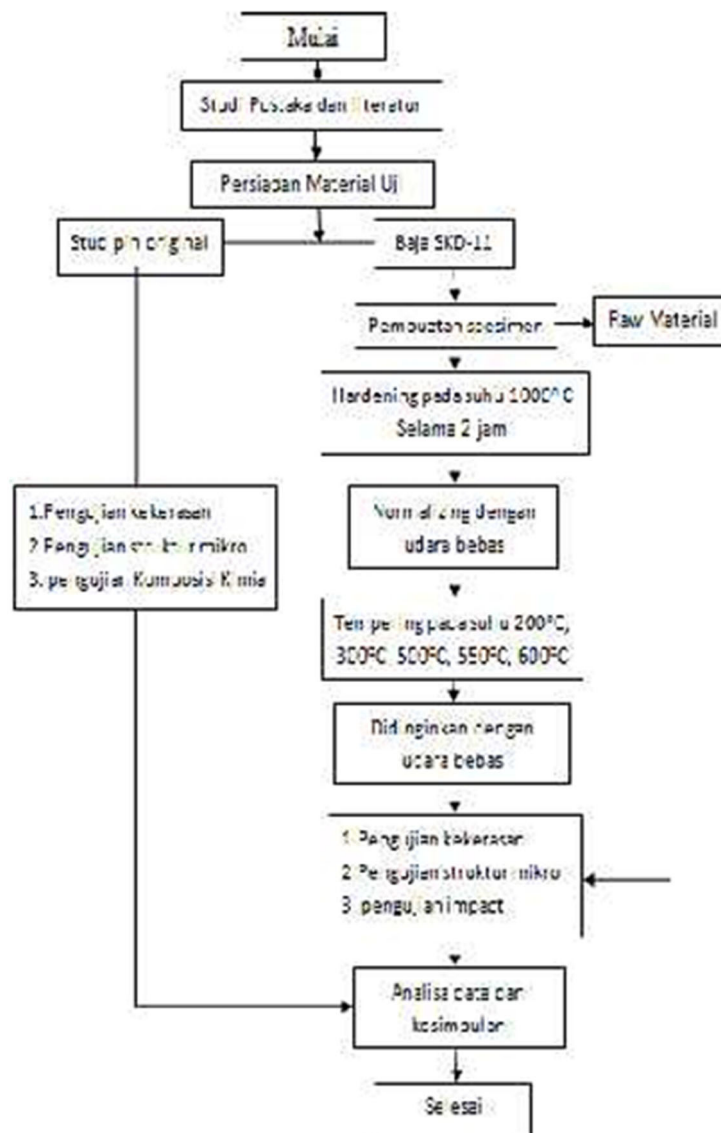
- a. Material yang digunakan adalah baja SKD-11 (AISI D2 / ASSAB XW-42).
- b. Perlakuan panas dilakukan pada temperatur *hardening* 1000°C dengan waktu penahanan (*holding time*) selama 2 jam.
- c. Proses *normalizing* dan *tempering* dilakukan dengan variasi suhu 200°C, 300°C, 500°C, 550°C, dan 600°C dengan waktu penahanan selama 1 jam.
- d. Pengujian meliputi uji komposisi, uji kekerasan Rockwell, uji *impact Charpy*, dan pengamatan struktur mikro dengan standar ASTM E18, ASTM E23, dan ASTM E340.
- e. Analisis difokuskan pada hasil uji kekerasan, ketangguhan, dan struktur mikro baja SKD-11 sebelum dan sesudah perlakuan panas

**1.4 Tujuan Penelitian**

- a. Membandingkan nilai kekerasan dan hasil uji impak baja SKD-11 sebelum dan sesudah proses heat treatment.
- b. Menganalisis perubahan struktur mikro baja SKD-11 setelah dilakukan perlakuan panas dengan variasi temperatur tempering.
- c. Membandingkan sifat fisis dan mekanis baja SKD-11 hasil perlakuan panas dengan komponen stud Membandingkan sifat fisis dan mekanis baja SKD-11 hasil perlakuan panas dengan komponen stud pin original untuk menilai kelayakan penggunaannya sebagai material pengganti.

**2. METODE**

Tahapan ini berisi prosedur dan pelaksanaan penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Pengujian

**2.1 Desain Penelitian**

Penelitian ini merupakan studi eksperimental laboratorium yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh

perlakuan panas (heat treatment) terhadap perubahan struktur mikro dan sifat mekanis baja SKD-11 yang digunakan sebagai alternatif material komponen stud pin pada mesin winder. Penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahapan utama, yaitu persiapan material, proses perlakuan panas, pengujian material, dan analisis hasil uji.

**2.2 Bahan dan Alat Penelitian**

Material utama yang digunakan adalah baja SKD-11 (AISI D2 atau ASSAB XW-42), yang merupakan baja perkakas dengan kandungan karbon dan kromium tinggi. Baja ini dipilih karena memiliki kekerasan dan ketahanan aus yang baik setelah dilakukan perlakuan panas (ASM Metals Handbook, 2005). Sebagai pembanding digunakan stud pin original dari mesin winder milik PT. Asia Pasific Fibers, Tbk.

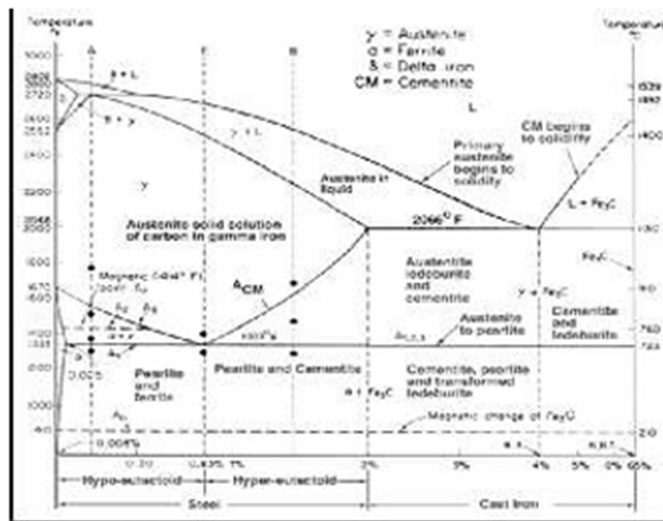
Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Dapur pemanas (furnace) untuk proses hardening, normalizing, dan tempering.
2. Spektrometer WAS untuk analisis komposisi kimia.
3. Alat uji kekerasan Rockwell sesuai standar ASTM E18.
4. Alat uji impak Charpy sesuai standar ASTM E23.
5. Mikroskop metalografi dengan metode pengujian struktur mikro berdasarkan ASTM E340.
6. Peralatan pendukung seperti ampelas, autosol, kain bludru, asam nital 10% (campuran HNO<sub>3</sub> dan alkohol), gergaji besi, serta tang penjepit.

**2.3 Diagram Pendukung Proses Transformasi Fasa**

**2.3.1 Diagram Fe–Fe<sub>3</sub>C (Besi-Karbon)**

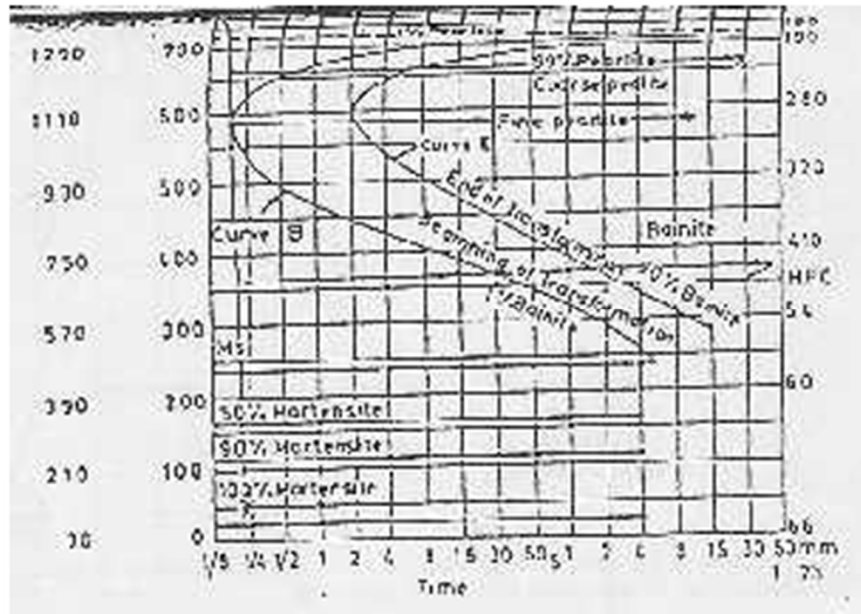
Diagram kesetimbangan besi–karbon merupakan dasar pemahaman proses transformasi fasa pada baja. Dalam diagram ini, garis batas fasa menunjukkan perubahan struktur dari ferit, perlit, sementit, hingga austenit bergantung pada kadar karbon dan temperatur. Baja SKD-11 dengan kandungan karbon ±1,5% termasuk dalam baja paduan tinggi yang bersifat keras dan tahan aus.



Gambar 2. diagram Fe- Fe<sub>3</sub>C

**2.3.2 Diagram TTT (Time-Temperature-Transformation)**

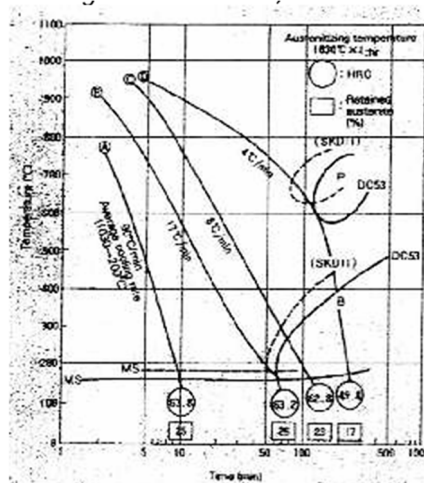
Diagram TTT menggambarkan hubungan antara waktu, temperatur, dan transformasi fasa austenit selama pendinginan isothermal. Pada diagram ini, kurva sebelah kiri (kurva B) menunjukkan awal transformasi austenit, sedangkan kurva kanan (kurva E) menunjukkan waktu berakhirnya transformasi. Diagram ini digunakan untuk menentukan kondisi pembentukan martensit, bainit, atau perlit selama perlakuan panas.



Gambar 3. diagram TTT untuk baja karbon 1%

**2.3.3 Diagram CCT (Continuous Cooling Transformation)**

Diagram CCT menjelaskan transformasi struktur austenit selama pendinginan terus-menerus, yang lebih sesuai dengan kondisi perlakuan panas aktual dibandingkan diagram TTT. Kecepatan pendinginan berbeda ( $v_1-v_6$ ) menghasilkan fasa akhir yang berbeda, mulai dari ferit–sementit (pendinginan lambat) hingga martensit (pendinginan cepat). Proses ini berperan penting dalam mengontrol sifat akhir baja SKD-11, seperti kekerasan dan ketangguhan.



Gambar 4. Diagram CCT pada Baja SKD-11

## 2.4 Prosedur Penelitian

### 2.4.1 Persiapan Material

Sampel baja SKD-11 dipotong sesuai ukuran spesimen uji untuk masing-masing pengujian, yaitu uji kekerasan, dampak, dan struktur mikro. Setiap spesimen kemudian dibersihkan untuk menghindari kontaminasi pada permukaan material sebelum dilakukan perlakuan panas.

### 2.4.2 Proses Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

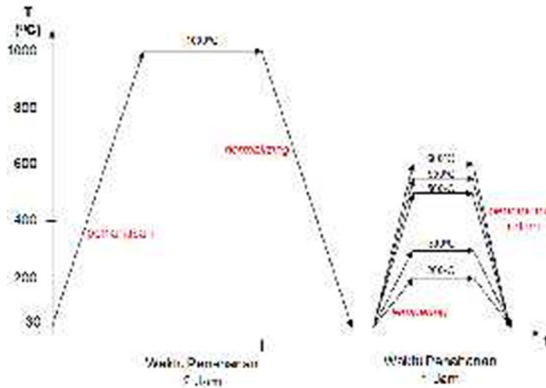
Tahapan proses perlakuan panas meliputi:

- Normalizing

Material dipanaskan hingga mencapai temperatur austenitisasi sebesar 1000°C dengan waktu penahanan (*holding time*) selama 2 jam, kemudian didinginkan di udara terbuka. Tujuan proses ini adalah menghilangkan tegangan sisa dan memperbaiki sifat mekanik material (Amstead dkk., 1981).

- Tempering

Setelah proses normalizing, spesimen diberi perlakuan tempering pada variasi temperatur 200°C, 300°C, 500°C, 550°C, dan 600°C, masing-masing dengan waktu penahanan selama 1 jam, lalu didinginkan di udara bebas. Variasi temperatur ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh suhu temper terhadap kekerasan, ketangguhan, dan struktur mikro baja SKD-11.



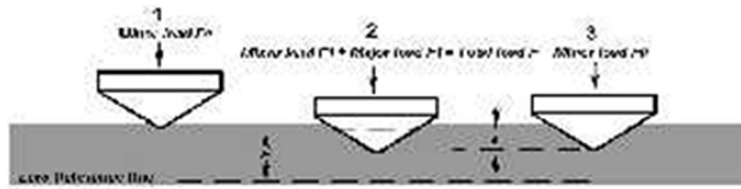
Gambr 5. Proses Perlakuan panas Baja SKD 11

Parameter proses perlakuan panas mengacu pada katalog ASSAB untuk baja jenis SKD-11.

### 2.4.3 Pengujian Material

Setelah proses heat treatment, dilakukan serangkaian pengujian untuk mengevaluasi perubahan sifat material, meliputi:

- Uji Komposisi Kimia  
Dilakukan menggunakan spektrometer WAS untuk menentukan kadar unsur-unsur utama pada material, seperti Fe, C, Cr, Mo, Mn, dan Si.
- Uji Kekerasan Rockwell (ASTM E18)  
Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan permukaan pada setiap variasi perlakuan panas. Nilai kekerasan dinyatakan dalam satuan HRC (Hardness Rockwell C).



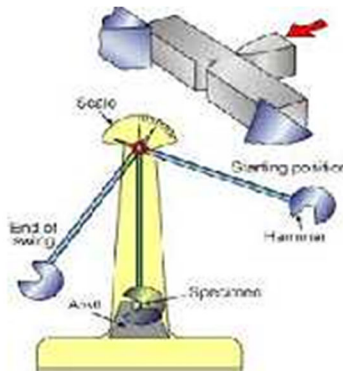
Gambar 6. Prinsip Kerja Metode Pengukuran Kekerasan Rockwell

- Uji Impak Charpy (ASTM E23)  
 Uji ini bertujuan untuk mengukur energi serapan spesimen terhadap beban kejut. Energi impact dihitung berdasarkan rumus:

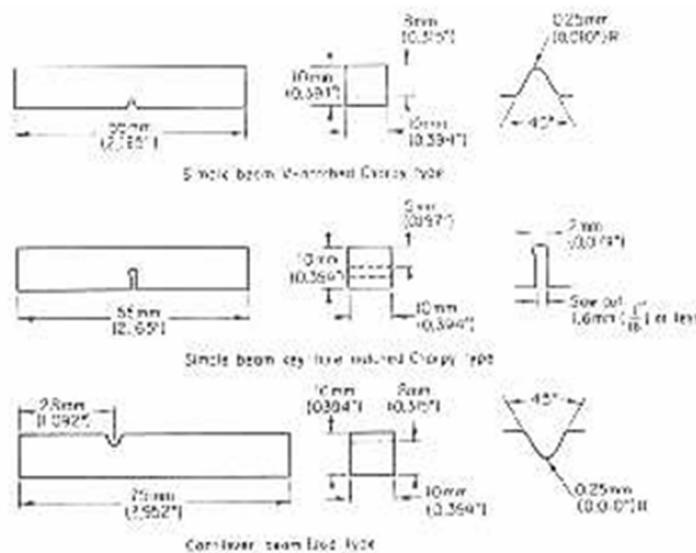
$$K = \frac{E}{A}$$

dengan  $K$ = nilai impact ( $J/mm^2$ ),  $E$ = energi yang diserap (Joule), dan  $A$ = luas penampang di bawah takikan ( $mm^2$ ).

Nilai impact yang lebih tinggi menunjukkan ketangguhan material yang lebih baik.



Gambar 7. Alat Uji Impact Charpy



Gambar 8. Macam Tekukan Standart ASTM E 23

- Uji Struktur Mikro (ASTM E340)  
 Pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik pada perbesaran 100x–500x. Permukaan spesimen terlebih dahulu diampelas, dipoles, lalu dietsa menggunakan larutan nital 10%. Struktur yang diamati meliputi fase ferit, sementit, martensit, bainit, dan krom karbida, yang diidentifikasi berdasarkan perbedaan warna dan bentuk butiran kristal (ASM Metals Handbook, 2005).

**2.4.4 Analisis Data**

Data hasil pengujian kekerasan, dampak, dan struktur mikro kemudian dibandingkan antara spesimen baja SKD-11 sebelum dan sesudah perlakuan panas serta dengan stud pin original. Analisis dilakukan secara deskriptif-kuantitatif untuk menentukan hubungan antara perlakuan panas dengan perubahan struktur mikro dan sifat mekanis baja.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1 Hasil Uji Komposisi Kimia**

Analisis komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur utama pada material stud pin original dan baja SKD-11. Hasil pengujian menggunakan spektrometer WAS menunjukkan bahwa stud pin original mengandung Fe sebesar 89,6%, C 0,34%, Ni 3,28%, dan Co 2,84%, sedangkan baja SKD-11 memiliki komposisi Fe 85,45%, C 1,55%, Cr 11,60%, Mo 0,80%, Mn 0,30%, dan Si 0,30%.

Kandungan karbon dan krom yang tinggi pada baja SKD-11 menunjukkan bahwa material ini termasuk baja perkakas (tool steel) dengan kekerasan dan ketahanan aus tinggi setelah proses perlakuan panas (ASM Metals Handbook, 2005). Namun demikian, kadar Ni dan Co yang tinggi pada stud pin original mengindikasikan bahwa material tersebut memiliki ketangguhan dan keuletan yang lebih baik. Hal ini menjadi alasan utama mengapa stud pin original memiliki ketahanan dampak yang lebih tinggi dibandingkan baja SKD-11 setelah perlakuan panas.

Tabel 1. Data Uji Komposisi Kimia Material Stud Pin Original

Unsur	Kandungan %
Fe	89,6
C	0,340
Si	0,790
Mn	0,614
P	0,0204
S	0,0094
Cr	0,868
Mo	<0,0050
Ni	3,28
Al	0,196
Co	2,84
Cu	0,445
Nb	0,130
Ti	0,0872
V	<0,0020
W	0,497
Pb	0,180

Tabel 2. Data Uji Komposisi Kimia Baja SKD 11

Unsur	Kandungan (%)
Fe	85,45
C	1,55
Cr	11,60
Mo	0,80
Mn	0,30
Si	0,30

### 3.2 Hasil Uji Kekerasan Rockwell

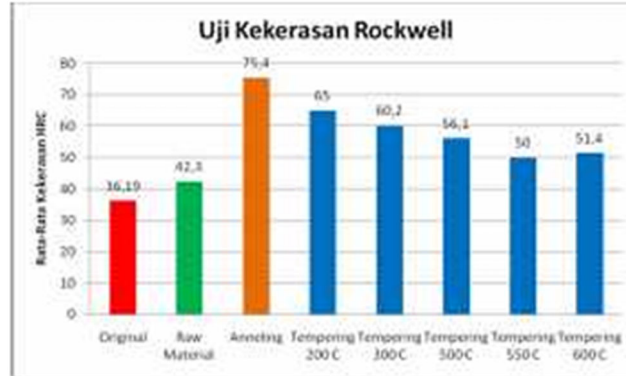
Uji kekerasan Rockwell dilakukan untuk menilai pengaruh variasi temperatur tempering terhadap kekerasan baja SKD-11. Hasil pengujian menunjukkan perbedaan signifikan pada nilai kekerasan antar spesimen sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 3. Hasil Uji Kekerasan Rockwell (HRC)

Sampel	Nilai Kekerasan (HRC)
Stud Pin Original	36,19
SKD-11 Tanpa Perlakuan Panas	42,30
SKD-11 Annealing	75,40
SKD-11 Tempering 200°C	65,00
SKD-11 Tempering 300°C	60,20
SKD-11 Tempering 500°C	56,10
SKD-11 Tempering 550°C	50,00
SKD-11 Tempering 600°C	51,40

Berdasarkan data tersebut, kekerasan tertinggi diperoleh pada baja SKD-11 hasil proses annealing sebesar 75,4 HRC, sedangkan kekerasan terendah pada spesimen tempering 550°C sebesar 50 HRC. Nilai kekerasan stud pin original tercatat sebesar 36,19 HRC, jauh lebih rendah dibandingkan baja SKD-11 yang telah melalui proses heat treatment.

Peningkatan kekerasan pada baja SKD-11 disebabkan oleh terbentuknya fasa martensit dan karbida krom ( $\text{Cr}_7\text{C}_3$ ) selama proses hardening dan tempering (Amstead dkk., 1981). Namun, peningkatan kekerasan ini cenderung menurunkan keuletan material karena bertambahnya sifat getas akibat dominasi fasa martensit (Karmin, 2009).



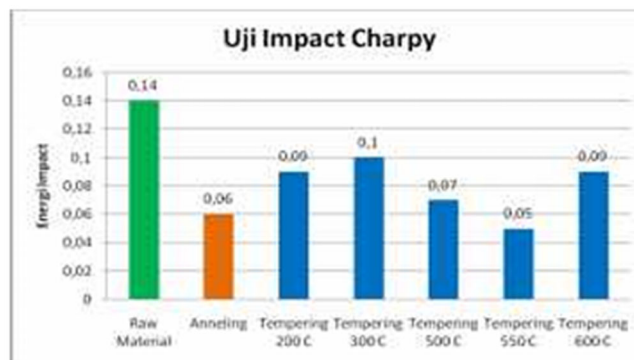
Gambar 9. Hasil Uji Kekerasan Rockwell

### 3.3 Hasil Uji Impak (Charpy Impact Test)

Pengujian impak dilakukan untuk menentukan kemampuan material dalam menyerap energi saat menerima beban kejut. Hasil uji impak ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Impak Charpy

Sampel uji	Energi yang diserap (Joule)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Energi Impact (Joule/mm <sup>2</sup> )
Stud Pin Original	126	71,43	1,76
Raw Material	12	88	0,14
Anneling	6,5	107,8	0,06
Tempering 200°C	8	89,1	0,09
Tempering 300°C	9	86,24	0,1
Tempering 500°C	6,5	89,1	0,07
Tempering 550°C	4	88	0,05
Tempering 600°C	8,5	93,6	0,09



Gambar 10. Hasil Uji Impak

Hasil menunjukkan bahwa stud pin original memiliki ketangguhan tertinggi dengan nilai 1,76 J/mm<sup>2</sup>, sedangkan spesimen baja SKD-11 yang mengalami tempering 550°C memiliki ketangguhan terendah yaitu 0,05 J/mm<sup>2</sup>. Nilai ketangguhan meningkat sedikit pada temperatur tempering 300°C, mencapai 0,10 J/mm<sup>2</sup>, sebelum kembali menurun pada temperatur lebih tinggi.

Pola ini menunjukkan adanya hubungan terbalik antara kekerasan dan ketangguhan baja SKD-11. Semakin tinggi temperatur tempering, semakin menurun nilai kekerasan dan semakin meningkat keuletan hingga titik optimum, kemudian menurun kembali pada temperatur tinggi akibat presipitasi karbida berlebih yang menyebabkan kerapuhan (Pradani, 2012).

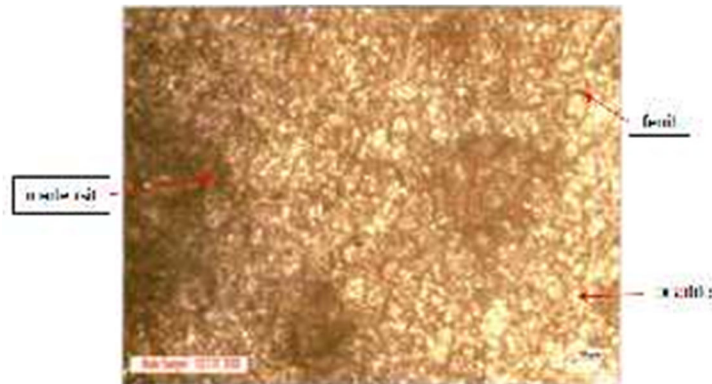
Dengan demikian, meskipun proses perlakuan panas berhasil meningkatkan kekerasan baja SKD-11, nilai ketangguhannya masih jauh di bawah material stud pin original, yang memiliki kandungan Ni dan Co lebih tinggi sehingga lebih ulet dan tahan terhadap beban kejut.

### 3.4 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk melihat perubahan fasa akibat variasi perlakuan panas. Hasil foto mikro memperlihatkan perbedaan yang signifikan antara baja SKD-11 sebelum dan sesudah perlakuan panas.

- Struktur mikro stud pin original menunjukkan fasa ferit, sementit, dan martensit, yang memberikan kombinasi kekuatan sedang dan keuletan tinggi.
- Baja SKD-11 tanpa perlakuan panas didominasi oleh fasa perlit dan sementit dengan sedikit martensit.
- Spesimen hasil annealing memperlihatkan struktur butiran yang halus dan homogen, dengan fasa sementit yang lebih tersebar merata.
- Spesimen tempering 200°C hingga 600°C menunjukkan adanya transformasi sebagian martensit menjadi bainit dan perlit, disertai presipitasi krom karbida pada batas butir.

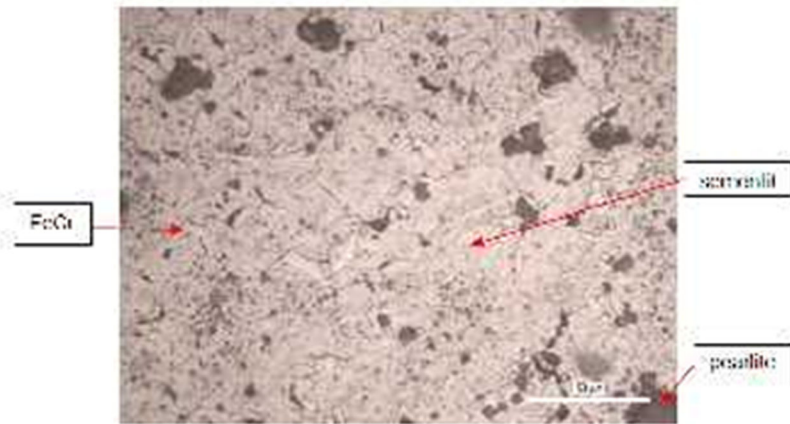
Menurut ASM (2005), peningkatan kandungan krom pada baja SKD-11 menyebabkan pembentukan karbida kompleks Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> yang memperkuat kekerasan material namun menurunkan keuletan. Oleh karena itu, meskipun hasil heat treatment meningkatkan kekerasan secara signifikan, struktur mikro yang dihasilkan masih belum mendukung ketangguhan tinggi seperti yang dimiliki stud pin original.



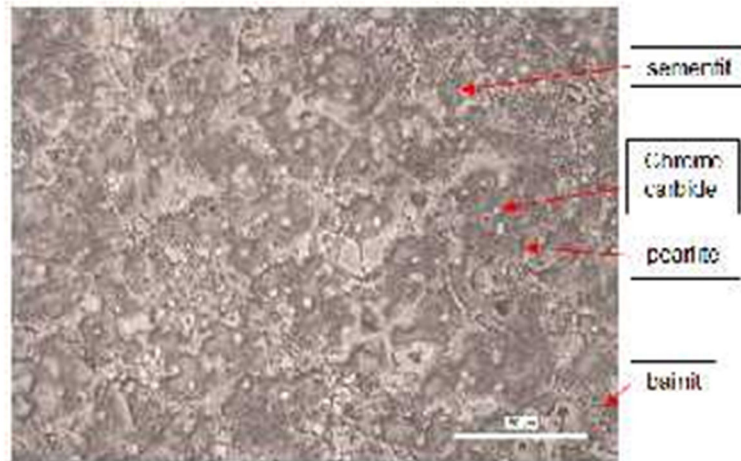
Gambar 11. Struktur Mikro *Stud Pin Original* Pembesaran 100x



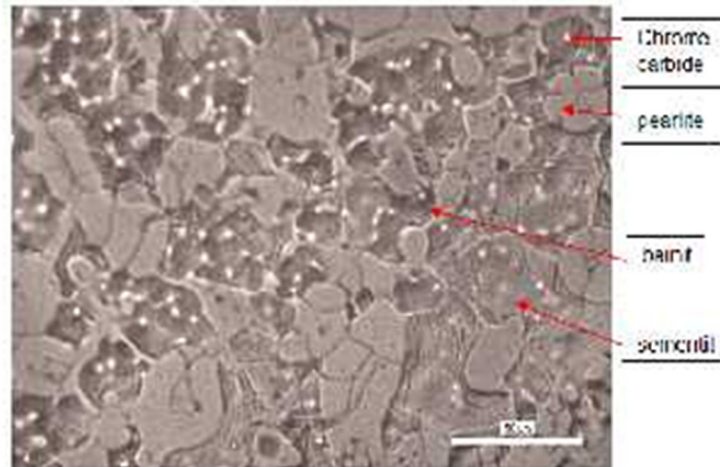
Gambar 12. Struktur Mikro Baja SKD 11 Tanpa Mengalami Perlakuan Panas Pembesaran 500x



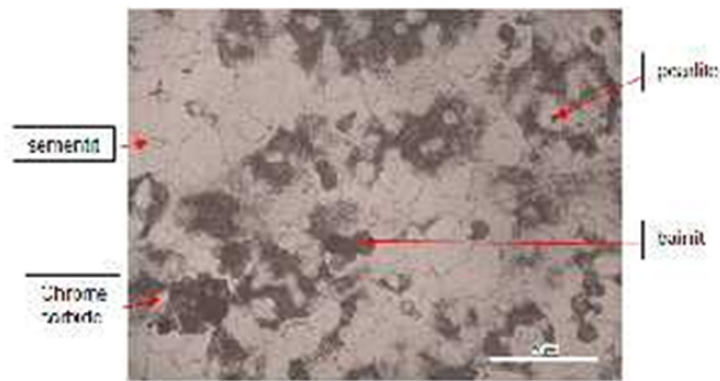
Gambar 13. Struktur Mikro Baja SKD 11 mengalami proses Annealing Pembesaran 500X



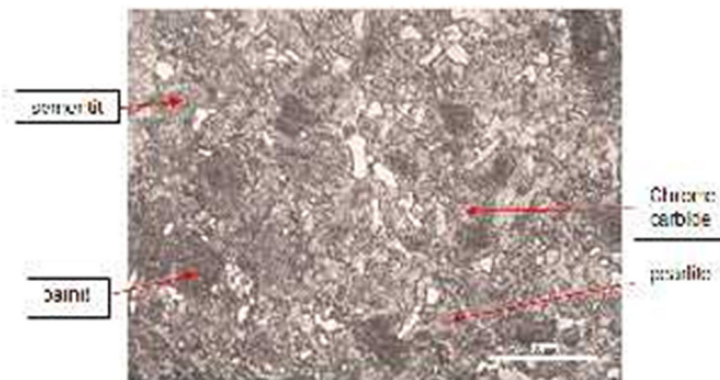
Gambar 14. Struktur Mikro Baja SKD 11 dengan Tempering 200oC Pembesaran 500X



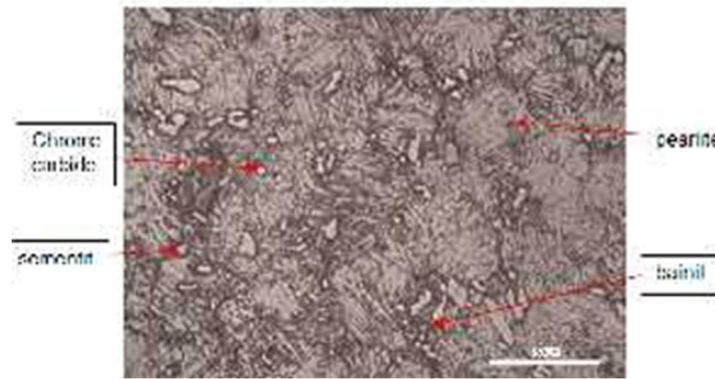
Gambar 15. Struktur Mikro Baja SKD 11 dengan Tempering 300oC Pembesaran 500X



Gambar 16. Struktur Mikro Baja SKD 11 dengan Tempering 500oC Pembesaran 500X



Gambar 17. Struktur Mikro Baja SKD 11 dengan Tempering 550oC Pembesaran 500X



Gambar 18. Struktur Mikro Baja SKD 11 dengan Tempering 600oC Pembesaran 500X

### 3.5 Pembahasan Umum

Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa perlakuan panas berpengaruh signifikan terhadap perubahan sifat mekanis baja SKD-11. Nilai kekerasan meningkat drastis setelah proses annealing dan tempering pada temperatur rendah, tetapi ketangguhan menurun secara mencolok. Hasil ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa peningkatan kandungan martensit menyebabkan kenaikan kekerasan namun mengurangi keuletan (Kirono dkk., 2009).

Dengan demikian, meskipun baja SKD-11 mampu mencapai kekerasan tinggi, sifat ketangguhannya tidak cukup untuk menggantikan fungsi stud pin original yang bekerja pada kondisi beban kejut tinggi. Untuk aplikasi serupa di masa depan, diperlukan material dengan kombinasi unsur Ni dan Co yang lebih dominan agar dapat mendekati karakteristik asli komponen stud pin.

## 4. PENUTUP

### 4.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perubahan Struktur Mikro  
Perlakuan panas menyebabkan perubahan signifikan pada struktur mikro baja SKD-11. Stud pin original menunjukkan fasa ferit, sementit, dan martensit, sedangkan baja SKD-11 setelah melalui proses tempering membentuk fasa perlit, sementit, bainit, serta krom karbida. Adanya krom karbida ( $Cr_7C_3$ ) disebabkan oleh tingginya kandungan unsur Cr dan C dalam baja SKD-11 yang meningkatkan kekerasan tetapi menurunkan keuletan material (ASM Metals Handbook, 2005).
2. Sifat Kekerasan dan Ketangguhan  
Hasil uji menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada baja SKD-11 hasil proses annealing yaitu sebesar 75,4 HRC, sedangkan nilai terendah pada tempering 550°C yaitu 50 HRC. Sebaliknya, nilai ketangguhan (impact) tertinggi terdapat pada stud pin original sebesar 1,76 J/mm<sup>2</sup>, sedangkan baja SKD-11 hasil perlakuan panas memiliki ketangguhan maksimal 0,10 J/mm<sup>2</sup> pada tempering 300°C. Hal ini memperlihatkan adanya hubungan terbalik antara kekerasan dan ketangguhan, di mana peningkatan kekerasan disertai dengan penurunan keuletan (Pradani, 2012; Karmin, 2009).
3. Kelayakan Material Baja SKD-11  
Berdasarkan perbandingan hasil pengujian, baja SKD-11 tidak dapat digunakan sebagai pengganti material stud pin original. Walaupun nilai kekerasannya tinggi, baja SKD-11 menunjukkan sifat getas yang tidak sesuai dengan karakteristik komponen yang bekerja pada beban impak tinggi. Material stud pin original yang mengandung unsur Ni dan Co memiliki kombinasi kekuatan dan keuletan yang lebih baik untuk aplikasi dinamis seperti pada mesin winder (Amstead dkk., 1981).

**DAFTAR PUSTAKA**

- Amstread, BH. dkk. 1995, *Teknologi Mekanik edisi ketujuh* oleh Ir. Sriati Djaprie, M.Met. Erlangga, Jakarta.
- ASM Metals Handbook. (1990-1, 2005-2), “Vol 01 : Properties and Selection Irons, Steels, and High-Performance Alloys”, ASM International.
- ASM Metals Handbook. 2005, “Vol 09 : Metallography and Microstructures”, ASM International.
- ASM Metals Handbook. 2005, “Vol 04 :Heat treating”, ASM International.
- DeGarmo, E. Paul, 1969, *Materials and Processes in Manufacturing*, California:The Macmillian Company.
- Dieter, George E., 1987, *Engineering Design A Materials and Processing Approach*, McGraw-Hill Book Company, Singapore.
- <http://www.scribd.com/doc/51579733/HARDNESS-TEST>
- <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-7374-2104100124> Judul.pdf
- [http://ayaniputra.blogspot.com/2011/09/teori-dasar-heat-treatment perlakuan.html](http://ayaniputra.blogspot.com/2011/09/teori-dasar-heat-treatment-perlakuan.html)
- Minardi. (2013). *Peningkatan sifat fisis dan mekanis shaft gear pump lokal dengan proses heat treatment*. Teknik mesin universitas muhammadiyah semarang.
- Smallman, R.E., 1999, *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*, Penerbit Erlangga, Jakarta.