

PENGARUH *TWICE TEMPER* DAN VARIASI TEMPERATUR NITRIDASI TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA PERKAKAS

Margono Sugeng¹, Adri Fato², Kholif Ardi Alfatah³

¹⁾²⁾³⁾ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Dian Nusantara, Jakarta

Corresponding author

E-mail: adri.pato@undira.ac.id



Diterima : 11/10/2021

Direvisi :

Dipublikasi :

Abstrak: Baja SKD 11 dengan proses pengerasan permukaan adalah salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kekerasan pada permukaan benda kerja dan dapat meningkatkan umur pakai sehingga menekan biaya produksi. Efek terjadinya perubahan dimensi akibat pengerasan permukaan pada benda kerja menjadi fokus penelitian ini untuk mendapatkan siklus baru yang optimum. Benda uji yaitu baja perkakas SKD11 mendapatkan proses perlakuan panas pada temperatur austenisasi 1030⁰C, dengan pendinginan, udara, lalu dilakukan 2 kali proses temper pada temperatur 500⁰C, dilanjutkan dengan melakukan nitridasi pada temperatur 530⁰C dan 560⁰C. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa siklus perlakuan panas pada baja perkakas SKD11 dengan temperatur nitridasi 530⁰ cenderung tidak terjadi perubahan dimensi.

Kata Kunci: Baja, Industri Otomotif, *Heat Treatment*

PENDAHULUAN

Kebutuhan akan baja dalam dunia industri sekarang ini akan diperkirakan terus bertambah. Perkembangan industri konstruksi dan manufaktur tentunya membutuhkan ketersediaan baja yang sangat besar. Diperkirakan pada tahun 2014 kebutuhan baja ini akan mencapai 13 juta ton . Kalau dihitung berdasarkan kenaikan anggaran pemerintah, ada kenaikan sebesar 20% setiap tahunnya.

Peningkatan kebutuhan akan baja juga memunculkan masalah baru yaitu kenaikan anggaran. Salah satu cara untuk mengatasi persoalan yang muncul tersebut adalah dengan meningkatkan umur pakai baja perkakas sehingga penggunaan dapat ditekan. Kebutuhan baja perkakas dengan kemampuan yang tinggi ini sangat membantu pihak industri untuk meningkatkan produktifitasnya.. Disinilah diperlukan sinergi yang kuat dari pemerintah, industri, dan peneliti untuk dapat menemukan cara baru yang memberikan alternatif peningkatan terhadap kemampuan baja perkakas.

Hal yang dapat dilakukan oleh pihak industri untuk meningkatkan kemampuan produksi baja perkakasnya adalah dengan penambahan proses *surface treatment* / pengerasan

permukaan yaitu nitridasi. Proses ini dapat meningkatkan kekerasan pada permukaan baja perkakas sehingga akan meningkatkan umur pakai dalam penggunaannya.

Namun persoalan lain muncul, proses pengerasan permukaan yang menghasilkan kekerasan yang baik, menimbulkan perubahan dimensi yang cukup berarti pada baja perkakas yang digunakan, dengan toleransi ukuran yang sangat kecil (+ 0,02 mm), tentu saja baja perkakas ini tidak bisa digunakan apabila mengalami perubahan dimensi.

Inilah yang memicu perlunya dilakukan serangkaian penelitian yang sistematis untuk mengontrol terjadinya perubahan dimensi akibat proses pengerasan permukaan nitridasi pada cetakan baja perkakas.

Cara umum yang dipakai untuk meningkatkan kemampuan kinerja baja perkakas adalah dengan menggunakan proses *full hardening*. Baja di panaskan sampai pada suhu *austenisasinya* dan kemudian dilakukan pendinginan cepat. Baja dengan fasa austenitasi yang didinginkan dengan cepat itu akan berubah menjadi martensit, yang bersifat keras dan getas. Untuk mengurangi kegetasan pada baja dengan mikrostruktur martensit dilakukan proses *temper* dengan suhu 500⁰C.

Dari penelitian sebelumnya frekuensi temper ini dapat meningkatkan kestabilan pada baja dengan baik, namun juga menimbulkan perubahan dimensi. . Penambahan proses *nitiding* dengan suhu kerja (500-570) ⁰C, juga menimbulkan efek seperti pada proses *tempering* yang pada akhirnya juga akan menyebabkan perubahan pada dimensi. Dengan toleransi ukuran yang sangat kecil (+ 0,02 mm), tentu saja baja perkakas ini tidak bisa digunakan apabila mengalami perubahan dimensi.

Berangkat dari penelitian-penelitian sebelumnya, peneliti bermaksud untuk melakukan penelitian ini adalah meningkatkan sifat mekanis baja SKD 11 pasca *quench*, dan *temper* dengan penambahan proses nitridasi tanpa terjadi perubahan dimensi.

Tujuan penelitian untuk mengetahui mengetahui peran frekuensi temper terhadap perubahan mikro struktur pada baja perkakas, mengetahui peran perubahan strukturmikro pada perubahan dimensi dan mengetahui ketebalan lapisan nitridasi dan hubungannya dengan perubahan dimensi pada baja perkakas.

KAJIAN PUSTAKA

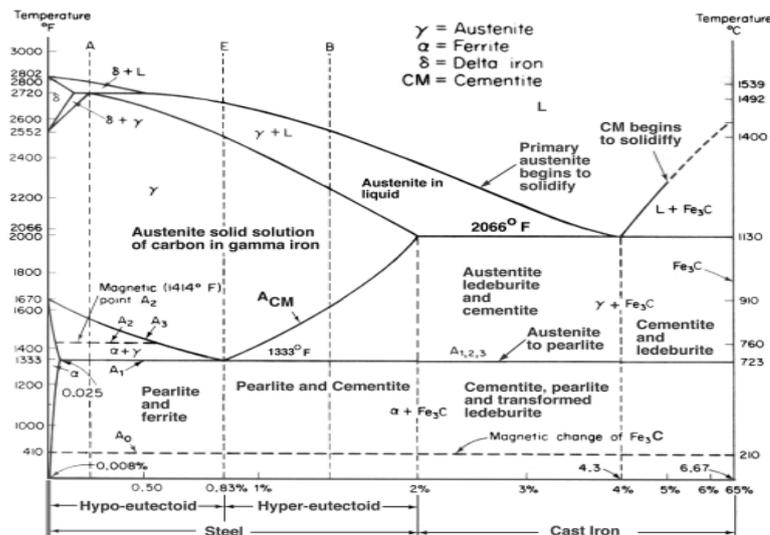
Baja adalah paduan antara besi (Fe) dan Carbon (C), dengan kadar Carbon 2 wt% dan paduan lain mencapai 5 wt%. Berbagai macam sifat dapat dihasilkan pada baja tergantung pada komposisi serta fase dan mikrostrukturnya, hal ini bisa terjadi dikarenakan adanya proses perlakuan panas.

Full Hardening

Peningkatkan kemampuan pada baja dengan melakukan proses perlakuan panas. Perlakuan panas pengubahan sifat logam, melalui perubahan mikrostrukturnya dengan cara pemanasan sampai temperature austenitasi dan pengaturan laju pendinginan.

Kecepatan pendinginan dilakukan agar terjadi pembentukan martensit dan diperoleh kekerasan yang tinggi. Strukturmikro martensit sangat tergantung pada kandungan persen berat karbonnya.. Pengerasan berhasil apabila struktur mikro sesuai dengan yang dibutuhkan, kekerasan tercapai, tegangan sisa minimal, tidak adanya distorsi dan tidak terjadi retak.

Volume fraksi martensit menjadi hal penting mengingat struktur mikro tersebut berpengaruh pada peningkatan sifat mekanik. Semakin banyak martensit yang terbentuk maka sifat mekanik semakin baik. Pembentukan martensit juga diiringi dengan fasa yang tidak stabil, perlakuan temper harus dilakukan untuk mendapatkan struktur yang keras dan stabil. Dasar pemahaman tentang proses perlakuan baja dapat diprediksi dengan menggunakan diagram fasa Fe – C, Gambar 1 berikut.



Gambar.1. Digram Fe – C

Tempering

Tempering dilakukan dibawah suhu kritis A1 dan didinginkan sesuai pada temperature yang diinginkan. [3] (P/291), tujuannya adalah untuk meningkatkan keuletan dan ketangguhan, Proses ini dapat mengurangi tegangan sisa pada baja.

Dari penelitian sebelumnya frekuensi temper dapat meningkatkan kestabilan pada baja dengan signifikan, sifat mekanis yang ada pada baja perkakas menjadi lebih baik.[4]. Peningkatan kestabilan akibat proses temper mempunyai hubungan dengan perubahan dimensi pada baja perkakas. [4][6]. Perubahan dimensi sangat berpengaruh pada hasil cetakan (dies) yang digunakan mengingat toleransi cetakan yang disyaratkan sangat presisi sangat kecil, di bawah 0,05 mm.

Nitridasi

Untuk mendapatkan kekerasan pada permukaan baja agar mempunyai ketahanan gesek yang lebih tinggi ditambahkan proses nitridasi. Alasan utama dilakukan nitridasi adalah:

1. Untuk mendapatkan kekerasan permukaan yang tinggi
2. Untuk meningkatkan ketahanan aus yang tinggi.
3. Untuk meningkatkan umur kelelahan.
4. Untuk meningkatkan ketahanan korosi (kecuali untuk baja tahan karat) .
5. Untuk mendapatkan permukaan yang tahan terhadap efek pelunakan akibat panas. [3] p.880

Gas nitridasi adalah proses pengerasan pada permukaan baja dengan memasukkan nitrogen pada permukaan baja paduan, suhu yang digunakan antara (500-570) 0C selama 10-72h. Lapisan nitride yang terjadi sangat keras dan merata pada permukaan logam [5]. Kekerasan nitridasi mencapai 70-72 HRC, dengan ketebalan berkisar antara 0,2 sampai dengan 0,4 mm.[7]. Untuk hasil yang optimal, bahan harus dalam keadaan sudah dikeraskan sebelum dilakukan nitridasi gas [8].

Perlakuan proses nitridasi pada suhu (500-570) 0C berlaku seperti efek temper ketiga pada baja perkakas, bukan hanya difusi nitride yang terjadi dan permukaan semakin keras, namun juga menyebabkan perubahan dimensi yang semakin besar. Kontribusi besar perubahan dimensi terjadi, disebabkan karena perubahan struktur mikro dari austenit menjadi martensit [9]. Pendinginan yang terlalu cepat dan tidak merata juga dapat menyebabkan pembentukan martensit lokal dan menimbulkan tekanan di bagian ini. Yang dapat menyebabkan retak [9].

Baja SKD 11

Baja SKD 11 adalah baja perkakas yang digunakan pada proses pengerjaan dingin (*Cold Work Tools Steel*). Setelah proses perlakuan panas, baja ini dapat mencapai kekerasan 60 HRC. Baja ini memiliki kedalaman pengerasan yang baik, serta perubahan dimensi yang kecil setelah proses pengerasan. Pada Tabel 2.2 dapat dilihat komposisi kimia dari baja SKD11.

Tabel 1. Komposisi Kimia SKD 11 [23]

STANDAR		KOMPOSISI KIMIA					PEMAKAIAN
JIS	AISI	C	Si	Mn	Cr	V	Blanking, punch, cold forming dies, shear blade, thread roll, trimming
SKD 11	D2	1,5	0,4	0,6	12,0	0,03	

Perubahan dimensi

Perubahan dimensi dan bentuk biasa terjadi pada saat proses heat treatment berlangsung. Itulah sebabnya setelah pada proses machining diberikan toleransi ukuran untuk kemudian dilakukan penyesuaian dimensi dengan proses *grinding* [14]. Faktor yang menyebabkan perubahan dimensi itu dikarenakan adanya konsentrasi tegangan dalam material.

Tegangan *thermal* muncul setiap kali ada gradien suhu dalam material. Tegangan *thermal* tumbuh dengan meningkatnya laju pemanasan. pemanasan yang tidak merata akan menghasilkan variasi tegangan pada permukaan dan bagian dalam material. Selisih temperatur yang terlalu tinggi akan menyebabkan distorsi pada material. Diketahui bahwa pendinginan cepat akan menghasilkan properti yang lebih baik, walaupun dapat menyebabkan distorsi yang besar. Transformasi tekanan muncul ketika struktur mikro baja berubah. Hal ini karena tiga fase dalam yang dimaksud yaitu ferit, austenit dan martensit memiliki kerapatan volume yang berbeda.

Dari semua perubahan mikrostruktur yang terjadi selama perlakuan panas, kontribusi terbesar terhadap tekanan transformasi disebabkan oleh transformasi austenit menjadi martensit. Hal ini menyebabkan peningkatan volume [14]. Pendinginan yang terlalu cepat dan tidak merata juga dapat menyebabkan pembentukan martensit lokal dan dengan demikian volume meningkat secara lokal dan menimbulkan tekanan di bagian ini. Tekanan tersebut dapat menyebabkan distorsi dan dalam beberapa kasus menjadi penyebab retak [14].

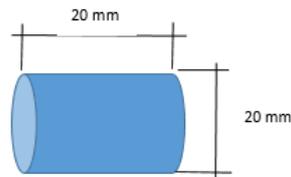
METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan melakukan karakterisasi specimen yang dibuat dari material SKD 11 dan melakukan uji mekanis setelah specimen mendapat perlakuan panas *full hardening* dan 2 kali *tempering* yang selanjutnya akan di lakukan proses nitridasi dengan menggunakan 2 variabel.

Diagram Alir Perancangan

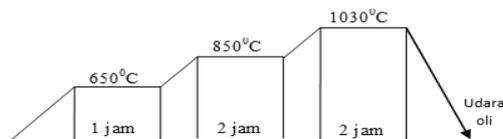
Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan specimen dengan toleransi + 0,2 mm.



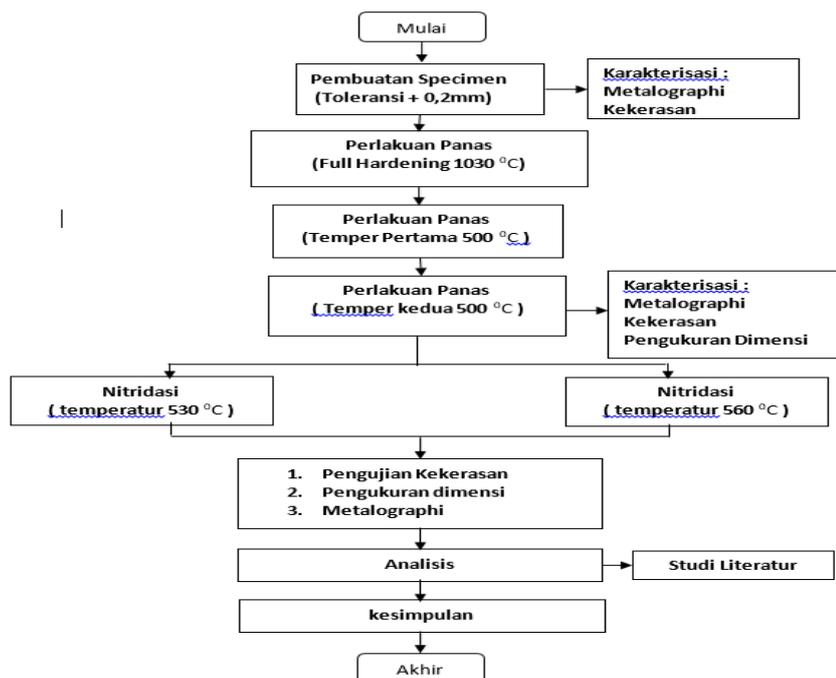
Gambar 1. Specimen Penelitian

2. Melakukan perlakuan panas full hardening di temperature 1030°C.



Gambar 2. Diagram Full Hardening

3. Melakukan 2 kali proses tempering pada specimen dengan temperature 500°C
4. Melakukan proses nitridasi pada specimen dengan variable temperature 530°C dan 560°C.
5. Melakukan uji mekanis kekerasan pada specimen dalam setiap tahapannya.
6. Melakukan pengukuran kekerasan dan ketebalan pada lapisan nitridasi.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

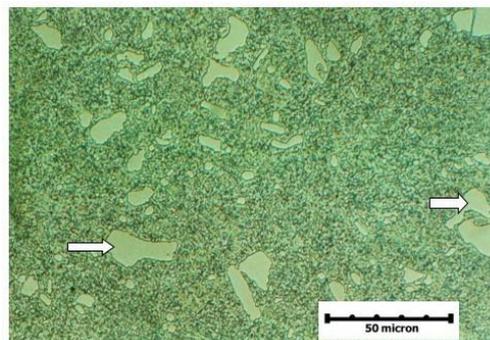
Analisa Karakteristik baja SKD 11

Hasil pengujian EDS komposisi kimia baja SKD 11 ditunjukkan pada Tabel 4.1, Dan data keseluruhan dari hasil pengujian komposisi kimia dapat dilihat pada Lampiran I.

Tabel 1 Hasil Uji Komposisi Kimia Baja SKD 11

SKD 11		
Unsur	Nilai Kandungan Unsur	Standar JIS G
Fe	84.87	-
C	1.47	1.40 – 1.60
Si	0.369	0.40 Maks
Mn	0.30	0.60 Maks
Cr	11.54	11.0 – 13.0
Ni	0.181	-
Mo	0.86	0,80 – 1.20
Cu	0.086	-
Al	0.030	-
V	0.234	0.20 – 0.50
Ti	<0.001	-
Nb	0.016	-
W	<0.002	-
Co	0.023	-
S	0.007	0.030 Maks
p	0.018	0.030 Maks

Dari hasil pengujian Material SKD 11 mempunyai Cr yang tinggi, yaitu 12%, kandungan ini berkontribusi untuk terbentuknya krom karbida yang sangat keras dan sangat cocok pada penggunaan baja pekerjaan dingin.. Hasil uji keras pada benda uji awal material SKD 11 mempunyai kekerasan 226 HV atau setara dengan 16 HRC. Struktur mikro yang didapat adalah ferit,

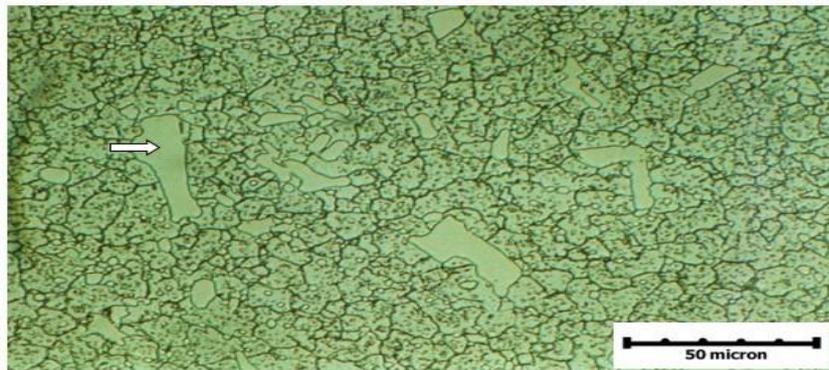


Gambar 4. Struktur SKD 11 setelah proses bubut. Perbesaran 500x, Tanda panah adalah karbida

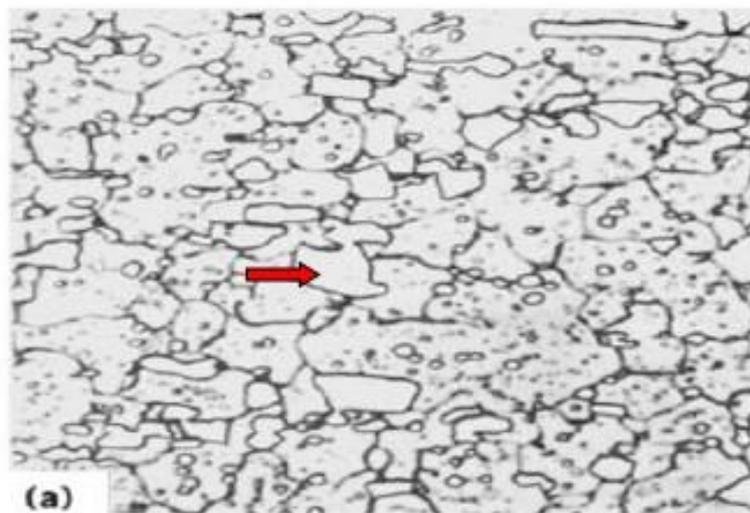
Pengaruh pendinginan dengan udara

Perlakuan panas dengan pendinginan udara menghasilkan kekerasan sebesar 762 HV, setara dengan 62,5 HRC. (Tabel 2). Struktur mikro yang terbentuk bermatrik martensit dan terdapat Austenit sisa dan krom karbida yang cukup banyak.

Pada gambar 5. pengaruh media pendingin terhadap kekerasan, terlihat kekerasan pada baja SKD11 dengan menggunakan pendinginan udara sebelum di temper mencapai 62 HRC, dan struktur bermatrik martensit dengan 29,5 % austenit sisa dan krom karbida. Pada gambar 6. adalah struktur D2 setelah pendinginan udara tanpa *temper* pada *Heat Treaters Guide D2*.



Gambar 5. Struktur mikro D2, nital 5%, 500x. Austenisasi 1030°C, pendinginan udara tanpa temper, karbida paduan cukup banyak, dan partikel karbida *speronoidal* dalam matrik martensit *untempered*. Nilai kekerasan 62 HRC. Karbida (tanda panah putih)



Gambar 6. Struktur mikro D2, nital 2%, 500x. Austenisasi 1010°C, pendinginan udara tanpa *temper*, karbida paduan cukup banyak, dan partikel karbida *speronoidal* dalam matrik martensit *untempered*. Nilai kekerasan 64 HRC Karbida (tanda panah merah)

Tabel.2. Nilai kekerasan dan perubahan dimensi dan Volume Austenite Sisa dengan perbedaan pendinginan

	Udara
Nilai kekerasan (HV)	762
Perubahan dimensi (mm)Diameter	0,18%

Volume Austenit Sisa	29,5%
----------------------	-------

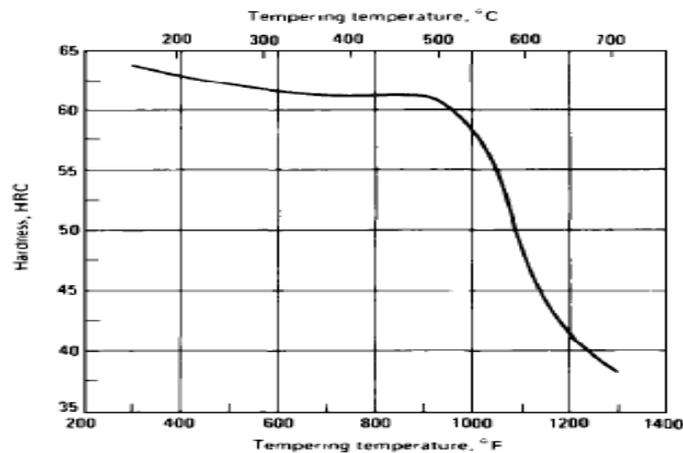
Pengaruh Proses Temper Terhadap Perubahan Struktur Mikro, Nilai Kekerasan, dan Perubahan Dimensi.

Hasil uji keras setelah dilakukan proses temper 500⁰C sebanyak 2 kali mengalami penurunan sekitar 250 HV kekerasan benda uji menjadi 510 HV atau setara dengan 60 HRC, Pada table 3. menunjukkan perubahan nilai kekerasan, volume austenit sisa dan perubahan dimensi. Terlihat bahwa proses *tempers* sangat mempengaruhi perubahan benda uji dibandingkan dengan kondisi benda uji setelah proses pendinginan. Gambar 4.15 memperlihatkan perubahan karakteristik benda uji dalam bentuk grafik.

Tabel 3. Perubahan Nilai Kekerasan , Volume Austenit Sisa dan perubahan dimensi setelah Proses Temper

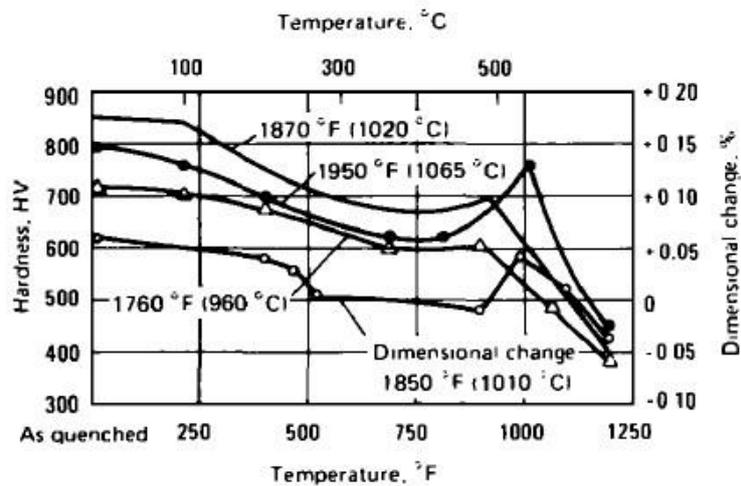
	Udara	
	<i>Quench</i>	<i>Temper</i>
Nilai kekerasan (HV)	762	510
Volume Austenit Sisa	29,5%	13,6%
Perubahan dimensi Diameter(mm)	0,18%	0,22%

Pada heat treaters guide pada gambar 7. menunjukkan pengaruh *temper* pada kekerasan mempunyai pola yang sama dengan yang di dapat pada hasil pengujian, kekerasan menurun mendekati nilai 60 HRC. Dan pola grafik perubahan dimensi menunjukan hal yang tidak jauh berbeda.



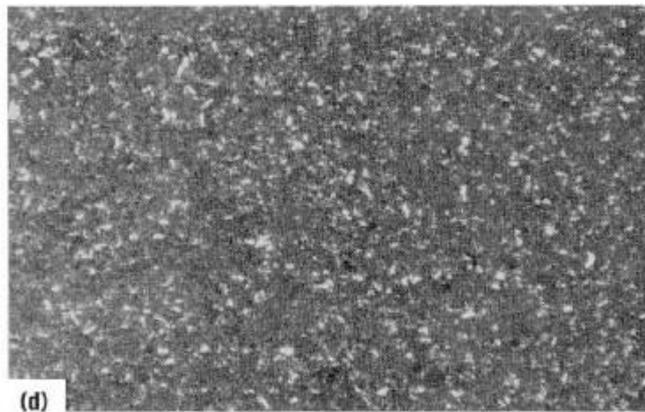
Gambar 7. Pengaruh Proses *Temper* Terhadap Nilai kekerasan Baja D2

Pada gambar 8. pengaruh temperatur *temper* dan perubahan dimensi juga menunjukkan nilai persentase yang sama dengan table 3 dimana nilai perubahannya mendekati 0,15%.



Gambar 8. Pengaruh Proses Temper Terhadap Perubahan D2

Dalam artikel dikatakan bahwa proses *tempering* mengkonversi perubahan struktur mikro dari dari martensit menjadi mertensit temper dan kemudian austenite sisa berubah menjadi martensit. Perubahan ini akan menimbulkan perubahan pada dimensi material . Semakin besar perubahan yang terjadi dari austenite sisa menjadi martensit akan semakin besar terjadinya perubahan dimensi.



Gambar 9. Etsa Nital. Perbesaran 100x. , austenisasi 1030 °C (1850 °F), Pendinginan udara, 2 X temper (2jam) di 550°C (1000 °F).



Gambar 10. Etsa Nital 5%, Perbesaran 200x. , austenisasi 1030°C , Pendinginan udara, 2 X temper (2jam) di 550°C (1000 °F).

Gambar 9. dan gambar 10. menunjukkan struktur mikro setelah mengalami proses temper dimana karbida tersebar merata di permukaan material. Dalam penelitian ini juga ditemukan hal yang sama, bahwa perubahan dimensi yang terjadi juga menunjukkan perubahan jumlah austenit sisa. Hal ini dapat dilihat pada tabel 4.3.

Pengaruh Proses Pengerasan permukaan Terhadap Perubahan Struktur Mikro, Nilai Kekerasan, dan Perubahan Dimensi.

Perhitungan karakteristik benda uji pada proses nitridasi ini akan dibandingkan dengan karakteristik benda uji setelah proses temper, hal ini dimaksudkan agar terlihat gambaran yang jelas pengaruh temperatur nitridasi terhadap pengukuran karakteristik pada benda uji. Pada proses ini variasi temperatur nitridasi menghasilkan perubahan dimensi yang berbeda, untuk temperatur nitridasi dibawah temperatur *temper* terjadi perubahan dimensi yang kecil, cenderung tidak mengalami perubahan dimensi. Dan temperatur nitridasi yang sama dan lebih tinggi dari suhu *temper* mengalami perubahan dimensi.

Tabel 4. memperlihatkan data kekerasan dari benda uji dengan variabel perlakuan panas yang berbeda dengan ketebalan yang terbentuk pada lapisan nitridasi, dikaitkan dengan Tabel 4.5 yang memperlihatkan perubahan kandungan volume martensit dengan ketebalan yang terjadi pada lapisan nitridasi.

Tabel 4. Proses Perlakuan Panas Terhadap Nilai Kekerasan

	Nilai Kekerasan	Ketebalan lapisan (µm)
	udara	udara
Quench	762	0
Temper	510	0
Nitridasi 530 ⁰ C	481	114,2
Nitridasi 560 ⁰ C	481	107.1

Pada tabel dapat dilihat bahwa benda uji pasca pengerasan permukaan yang mempunyai kekerasan paling tinggi, terjadi pada proses pengerasan permukaan dengan temperatur 530⁰C, sementara kekerasan yang paling rendah terjadi pada benda uji dengan temperatur nitridasi 560⁰C.

Pada table 5. memperlihatkan keterkaitan data ketebalan lapisan nitridasi dengan kandungan volume martensit. Semakin kecil kandungan fraksi volume martensit maka lapisan nitridasi akan semakin tebal. Ini menjelaskan bahwa proses nitridasi terjadi pada baja feritik, dimana martensit kembali berubah menjadi ferit dikarenakan temperatur proses nitridasi dan akan memudahkan terbentuknya lapisan.

Tabel 5. Kandungan Martensit dan Ketebalan Lapisan

	Kandungan Martensit (%)	Ketebalan lapisan (µm)
	udara	udara
Nitridasi 530 ⁰ C	65,86	114,2
Nitridasi 560 ⁰ C	70,69	85,7

Tabel 6. memperlihatkan data perubahan dimensi diameter dan kaitannya dengan temperatur perlakuan panas, terlihat pada temperatur nitridasi 530⁰C, dimensi cenderung tidak berubah.

Tabel 6. Proses Perlakuan Panas terhadap Perubahan Diameter Dalam
 Perubahan Dimensi Diameter Dalam (%)

	udara
Quench	0,03
Temper	0,04
Nitridasi 530 ⁰ C	0,00
Nitridasi 560 ⁰ C	-0,01

Perubahan dimensi paling besar terjadi pada suhu nitridasi 560⁰C, sementara pada suhu 530⁰C baik pada media pendingin udara temperatur nitridasi ini diterima oleh benda uji seperti efek temper ketiga,

Tabel 7. Data Volume Austenit Sisa

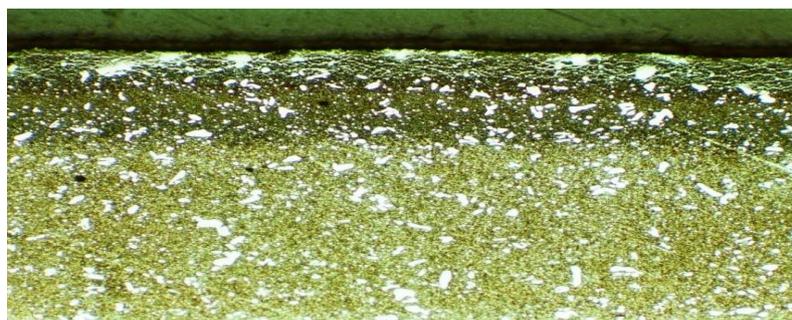
	Udara(%)
Quench	29,50
Temper	13,60
Nitridasi 530 ⁰ C	8,14
Nitriding 570 ⁰ C	9,40

Perubahan dimensi yang terkecil terjadi pada proses nitridasi dengan temperatur proses 530⁰C, pada proses ini terlihat penurunan kandungan austenit yang paling rendah terjadi dari austenit sisa pasca temper ke kandungan austenit sisa proses nitridasi dengan temperatur 530⁰C, penurunan austenit yang relatif lebih kecil menunjukkan perubahan dimensi yang juga kecil. Hubungan yang serupa terjadi pada data yang diperlihatkan pada proses nitridasi 560⁰C

Difusi nitrogen dalam lapisan baja terjadi ketika baja bersifat *ferritic* , perubahan martensit yang berstruktur BCT dimungkinkan menjadi ferit kembali dengan struktur BCC karena pemanasan 5 – 7 jam pada proses nitridasi.Semakin lama proses nitridasi berlangsung semakin tebal lapisan yang terbentuk dikarena semakin banyak struktur martensit dipermukaan yang berubah menjadi ferit.

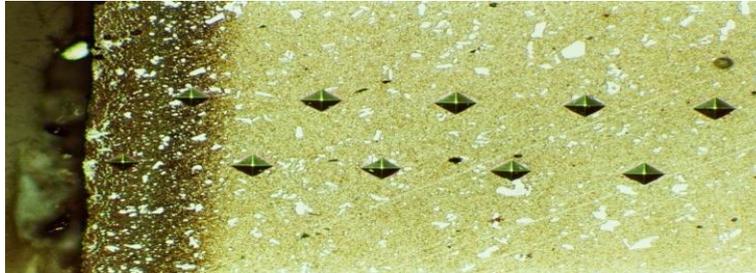
Tabel 8. Distribusi Kekerasan Pada Lapisan Nitridasi

Kedalaman	N 530			N 570		
	50	100	150	50	100 μ m	150 μ m
	889	618	543	882	560	543 HV



Gambar 11. White layer, Etsa 3% Nital, Perbesaran 200X, Pendinginan Udara, Temper 560⁰C, Nitridasi Temperatur 560⁰C

Pada Tabel 8. Distribusi kekerasan pada lapisan nitridasi menuju inti terlihat hanya ada perbedaan yang berarti sampai pada kedalaman 150 μm . Ini juga bisa dibandingkan dengan kedalaman lapisan nitridasi yang terjadi maksimal pada temperatur nitridasi 530 $^{\circ}\text{C}$ rata rata sebesar 115 μm . Gambar 12. memperlihatkan gambar distribusi kekerasan lapisan nitridasi.



Gambar. 12. Distribusi Kekerasan lapisan nitride

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan pengaruh nitridasi terhadap struktur mikro, nilai kekerasan dan perubahan dimensi sebagaimana yang telah diuraikan, maka diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Siklus nitridasi paling optimum untuk baja SKD11 dengan tingkat perubahan dimensi paling kecil adalah siklus perlakuan panas dengan pendinginan udara.
2. Temper 500 $^{\circ}\text{C}$ berpengaruh terhadap penurunan volume austenit sisa yang menyebabkan perubahan dimensi. Perubahan sifat mekanis juga terjadi setelah proses ini dilihat dari turunnya nilai kekerasan dibandingkan dengan nilai setelah pendinginan.
3. Perubahan dimensi setelah proses nitridasi tidak hanya disebabkan oleh perubahan volume austenit sisa tetapi juga bisa diakibatkan karena terbentuknya lapisan putih dipermukaan akibat waktu tahan pada proses nitridasi.
4. Ketebalan lapisan nitridasi dipengaruhi oleh temperatur dan waktu tahan. Belum ditemukan hubungan yang kuat antara perubahan struktur mikro dengan ketebalan nitridasi, dalam penelitian ini terlihat ketebalan nitridasi diikuti dengan penurunan volume martensit. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut untuk membuktikan hal ini.

Saran

Untuk dapat mengaplikasikan proses pengerasan permukaan pada baja SKD11 dapat dilakukan dengan meminimalisir keberadaan austenit sisa dengan metode *sub zero*, Proses ini masih dirasa mahal, maka proses nitridasi dapat menggunakan pendinginan udara dengan memberikan temperatur nitridasi dibawah temperature *temper*, agar kekerasan permukaan dapat dicapai dan perubahan dimensi dapat dihindari.

DAFTAR RUJUKAN

- [1]. Kompas "Baja Masih memiliki Prospek", 28 April 2015
- [2]. Suarakarya-online.com, "Pangsa Pasar Produk Baja Meningkat", Kamis, 6 Oktober 2011 pp 741-748
- [3]. ASM Metal Handbook Vol 4, *Principles of Heat Treating of Steels*, 1991

-
- [4]. Daido Steel CO. LTD, “*Heat Treatment Of Tool Steel*”, *Technical Document No. SD9043*
- [5]. Ashok Sharma, “*Heat Treatment Principles and Techniques*”. by PHI learning Private Limited, 2011
- [6]. Hamid Reza Bakhsheshi-Rad dkk, “*Effect of Multi Step Tempering on Retained Austenite and Mechanical Properties Of Low Alloy Steel*,” *Journal of Iron Steel Research International*, 2011, 18(12) ; pp 49-56
- [7]. Mohamed Ali Terres, Nabil Laalai, Habib Sidhom, “*Effect of nitridasi and shot-peening on the fatigue behavior of 42CrMo4 steel*”: *Material and design* 35 (2012)
- [8] <http://www.bodycote.com/en/services/heat-treatment/case-hardening-without-subsequent-hardening-operation/gas-nitridasi.aspx>
- [9]. Heat Treatment Of Tool Steel, www.uddeholm.com
- [10]. SKD 11, Cold Forging Die Steel, www.daido.co.jp
- [11]. ASM Metal Handbook Vol 9, “*Metallographi and Microstructure*,” 2004. p. 1392
- [12] George Krauss. “*Steel : Processing, structure and performance*”, ASM International. pp 453, 2005
- [13] Karl-Erick Thelning, “ Steel and its heat treatment” Bofors handbook-butterworth_co publisher Ltd (1967) p.(20-22)
- [14] Heat Treater’s Guide : “ Practices and Procedures for irons and steels”, ASM International 1995. p.561-565
- [15] George Krauss. “ Tool Steel “*Steel : Processing, structure and performance*”, ASM International / p. 538, 2005