

ANALISIS PERBANDINGAN KOMPOSISI KARBON DAN BUBUK TULANG SAPI DALAM PROSES KARBURASI PADAT UNTUK MENDAPATKAN NILAI KEKERASAN TERTINGGI PADA BAJA KARBON S-35 C

Nevada J.M. Nanulaitta

Dosen Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ambon
e-mail: rio_nevada@yahoo.co.id

Eka R. M. A. P. Lilipaly

Dosen Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ambon
e-mail:

ABSTRAK

Baja S 35 C, yang merupakan baja karbon rendah dengan kadar karbon sebesar 0,30 – 0,35%, memiliki nilai kekerasan yang rendah. Hal ini dapat di atasi dengan merubah nilai kekerasan dari baja tersebut dengan proses perlakuan panas. Perlakuan panas yang diterapkan dalam penelitian ini adalah metode karburasi padat (Pack Carburizing).

Hasil yang diperoleh setelah proses penelitian dengan waktu penahanan 15 menit, menggunakan perbandingan 500 g karbon dan 0% tulang sapi adalah 116.90 HRC, terjadi peningkatan nilai kekerasan rata-rata sebesar 20.54 HRC. Untuk komposisi 500 g karbon dan 10% tulang sapi nilai kekerasan adalah 118.39 HRC, dengan peningkatan sebesar 20.40 HRC. Untuk komposisi 20% tulang sapi nilai kekerasan rata-rata menjadi 122.20 HRC, peningkatan sebesar 24.38 HRC. Sedangkan dengan komposisi 30% tulang sapi nilai kekerasan menjadi 130.36 HRC, terjadi peningkatan sebesar 32,05 HRC. Komposisi 40% tulang sapi nilai kekerasan menjadi 133.34 HRC, peningkatan sebesar 35.08 HRC, dan komposisi 50% tulang sapi nilai kekerasan menjadi 141.29 HRC, nilai kekerasan meningkat sebesar 43.95 HRC. Komposisi 50% tulang sapi menghasilkan peningkatkan nilai kekerasan tertinggi, ini membuktikan bahwa semakin besar komposisi tulang sapi maka semakin tinggi peningkatan nilai kekerasan, juga membuktikan tulang sapi dapat dimanfaatkan sebagai katalisator dalam proses karburasi padat.

Kata Kunci : Nilai Kekerasan, Karburasi Padat, Tulang Sapi.

ABSTRACT

S-35 C, is a low steel carbon type with 0,30% - 0,35% carbon composition, which has a low hardness. This matter can be overcome by changing the hardness of this steel through heat treatment process. Heat treatment method used in this experiment is pack carburizing method.

Experiment results showed that with composition of 500 g of carbon and 0% beef bones with 15 minutes holding time, the hardness number increased as much as 116.90 HRC, there was 20.54 HRC number increased. With 10% of cow bones composition, hardness number became 118.39 HRC and 20.40 HRC number increased. HRC number became 122.20 and increased by 24.38 on 20% composition, and on 30% the hardness value became 130.36 HRC, increased until 32.05 HRC number. 40% composition showed increasing hardness number up to 133.34 HRC, with 35.08 HRC increased. And 50% composition showed 141.29 HRC number, increased until 43.95 HRC.

50% composition produce the highest increase of hardness number, this verified that the higher composition of cow bones makes higher increasing of hardness number in a heat treatment process deliver a harder steel, and also prove that beef bones can be used as a catalyst in pack carburizing proses.

Keywords : Hardness number, pack carburizing, beef bones.

PENDAHULUAN

Produksi logam sebagian besar adalah baja. Baja adalah logam besi yang banyak digunakan baik dalam dunia industri-industri, kebutuhan rumah tangga (seperti parang, linggis, pisau dan lainnya) atau bidang kerja lain. Dalam bidang perbengkelan sebagian besar peralatannya terbuat dari baja misalnya mata pahat bubut, bor dan lainnya yang dalam penggunaan sehari-hari juga dapat mengalami penumpulan (keausan) atau kerusakan akibat bersentuhan dengan benda keras. Untuk mendapatkan baja dengan nilai kekerasan tertentu agaklah sulit, walaupun ada harganya cukup mahal. Oleh karena itu perlu adanya terobosan untuk mencari alternatif lain untuk mengubah nilai kekerasan baja yang tersedia khususnya baja karbon rendah. Untuk mengubah nilai kekerasan dari baja karbon rendah diperlukan beberapa proses pengerjaan logam salah satu diantaranya melalui proses penambahan karbon dari baja tersebut atau yang sering disebut karburasi. Baja dengan kadar karbon rendah (dibawah 0,3%C), dapat dikarbonkan, khusus untuk baja S-35C dengan 0,20% s/d 0,35% C yang memiliki sifat kurang baik untuk disepuh namun dapat disementir.

Salah satu proses perlakuan panas logam adalah proses karburasi (*carburizing*) yang bertujuan meningkatkan ketahanan aus dan ketahanan terhadap pembebanan yang tiba-tiba dan karakteristik fatiq dengan cara menambah kekerasan permukaan logam. Biasanya untuk proses karburasi digunakan karbon (arang kayu nani) di campur dengan barium karbonat sebagai media pengarbonan padat melalui proses pemanasan.

Tetapi dengan pemanfaatan sumber daya alam lokal, Barium Karbonat ($BaCO_3$) dapat diganti dengan Tulang Sapi dengan kadar kalsium karbonat ($CaCO_3$) dengan presentasi 20 s/d 30%. Dengan demikian maksud dari proses karburasi ini agar baja karbon rendah tersebut mampu menyerap karbon (pengarbonan) pada lingkungan yang mampu menyerahkan karbon padanya supaya dapat meningkatkan nilai kekerasan (sifat-sifat mekanis) dari baja tersebut.

Penelitian ini menggunakan komposisi karbon (arang kayu nani) sebanyak 500 g dan bubuk tulang sapi sebesar 0%, 20%, 30%, 40%, dan 50% dengan waktu penahanan yaitu 15 menit, serta memakai metode pengujian kekerasan Rockwell dengan beban 150 kPa untuk mendapatkan nilai kekerasan baja tersebut. Media pendingin yang dipakai adalah oli SAE 20W-50.

LANDASAN TEORI

Baja merupakan salah satu jenis logam yang banyak digunakan dengan unsur karbon sebagai salah satu dasar campurannya. Di samping itu baja juga mengandung unsur-unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan sebagainya yang jumlahnya dibatasi. Sifat baja pada umumnya sangat dipengaruhi oleh prosentase karbon dan struktur mikro. Struktur mikro pada baja karbon dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja. Karbon dengan unsur campuran lain dalam baja membentuk karbid yang dapat menambah kekerasan, tahan gores dan tahan suhu baja. Perbedaan prosentase karbon dalam campuran logam baja karbon menjadi salah satu cara mengklasifikasikan baja. Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

1. Baja karbon rendah
Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mengandung karbon dalam campuran baja karbon kurang dari 0,3%. Baja ini bukan baja yang keras karena kandungan karbonnya yang rendah kurang dari 0,3%C. Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit (Amanto, 1999).
2. Baja karbon menengah
Baja karbon sedang mengandung karbon 0,3%C – 0,6%C (*medium carbon steel*) dan dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan sebagian dengan perlakuan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Baja karbon sedang lebih keras serta lebih kuat dibandingkan dengan baja karbon rendah (Amanto, 1999).
3. Baja karbon tinggi
Baja karbon tinggi mengandung 0,6%C – 1,5%C dan memiliki kekerasan tinggi namun keuletannya lebih rendah, hampir tidak dapat diketahui jarak tegangan lumernya terhadap tegangan proporsional pada grafik tegangan regangan. Berkebalikan dengan baja karbon rendah, pengerasan dengan perlakuan panas pada baja karbon tinggi tidak memberikan hasil yang optimal dikarenakan terlalu banyaknya martensit sehingga membuat baja menjadi getas.

Tulang sapi merupakan salah satu komponen dari limbah RPH. Tulang potensinya cukup besar mengingat bobot yang dihasilkan cukup besar yakni mencapai 15% dari berat bobot. Bahan padatan utama tulang mengandung kristal kalsium hidroksiapatit $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ dan kalsium karbonat ($CaCO_3$) yang berpotensi digunakan sebagai adsorben aktif, yakni tulang yang diproses sedemikian rupa

sehingga mempunyai kemampuan adsorpsi yang tinggi terhadap bahan yang berbentuk padat maupun larutan (yang didalamnya mengandung logam berat yang bersifat toksik). Tulang sapi merupakan tempat penyimpanan garam kalsium didalam hewan. Mineral yang utama adalah kalsium fosfat dan karbonat. Selain itu tulang mengandung sekitar 1% asam sitrat. Hasil analisis menunjukkan bahwa penyusunan utama tulang adalah trikalsium fosfat dengan sebagian kecil kalsium karbonat.(Desroiser, 1989).

Perlakuan panas didefinisikan sebagai kombinasi operasi pemanasan dan pendinginan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat dengan waktu tertentu, yang dimaksud memperoleh sifat-sifat tertentu. Pengerasan permukaan disebut juga *case hardening*, dapat juga dikatakan sebagai suatu proses laku panas yang diterapkan pada suatu logam agar memperoleh sifat-sifat tertentu. Dalam hal ini hanya pengerasan permukaannya saja. Dengan demikian lapisan permukaan mempunyai kekerasan yang tinggi, sedangkan bagian yang dalam tetap seperti semula, yaitu dengan kekerasan rendah tetapi keuletan atau ketangguhannya tinggi.

Karena banyaknya cara proses pengerasan permukaan diantaranya adalah *carburizing*(karburasi menggunakan media padat, cair, atau gas) dan *nitriding*.

Karburasi atau *Carburizing* adalah proses perlakuan termokimia, umumnya diterapkan pada jenis baja yang mudah dikeraskan. Dengan demikian agar baja tersebut dapat dikeraskan permukaannya, komposisi karbon pada baja harus berkisar antara 0,3 sampai 0,9 % karbon. Bila lebih dari 0,9 % harus dihindarkan karena dapat menimbulkan pengelupasan dan bahkan keretakan.

Proses karburasi ini biasanya dilakukan pada baja karbon rendah yang mempunyai sifat lunak dan keuletan tinggi. Tujuan dari proses karburasi adalah untuk meningkatkan ketahanan aus dengan jalan mempertinggi kekerasan permukaan baja karbon dan meningkatkan karakteristik fatik dari baja karbon tersebut. Manfaat yang patut dipertimbangkan dalam penerapan proses karburasi adalah bahwa proses karburasi akan menghasilkan deformasi yang sangat kecil dibandingkan pada proses pengerasan yang diperoleh melalui pendinginan (*quenching*).

Penambahan karbon yang disebut *carburizing* atau karburasi, dilakukan dengan cara memanaskan pada temperatur yang cukup tinggi yaitu pada temperatur austenit dalam lingkungan yang mengandung atom karbon aktif, sehingga atom karbon aktif tersebut akan berdifusi masuk ke dalam permukaan baja dan mencapai kedalaman tertentu.

Ada 3 cara dalam penambahan karbon atau karburasi (*carburizing*), yaitu :

1. Menggunakan medium padat atau *Pack Carburizing*

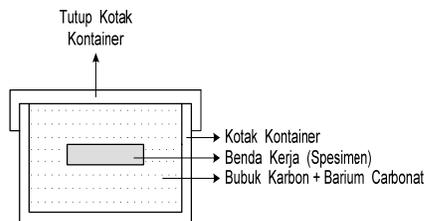
Benda kerja dimasukkan ke dalam kotak yang berisi bubuk karbon dan ditutup rapat kemudian dipanaskan pada temperatur austenit, yaitu antara 825⁰ C - 925⁰ C selama waktu tertentu. Bahan *carburizing* terdiri dari bubuk karbon aktif 60 %, ditambah BaCO₃ (*Barium Carbonat*) atau NaCO₃ (*Natrium Carbonat*) sebanyak 40 % sebagai energizer atau activator yang mempercepat proses karburisasi. Namun biasanya BaCO₃ yang dipakai karena lebih mudah terurai dari pada NaCO₃. Sebenarnya tanpa energizerpun dapat terjadi proses *carburizing* karena temperatur sangat tinggi, maka karbon teroksidasi oleh oksigen yang terperangkap dalam kotak menjadi CO₂, reaksi dengan karbon bereaksi terus hingga didapat ;



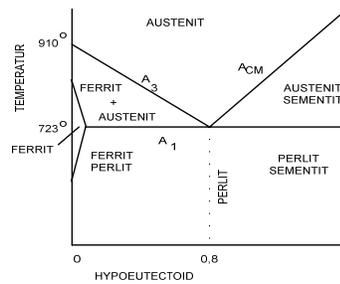
Dengan temperatur yang semakin tinggi keseimbangan reaksi makin cenderung ke kanan, makin banyak CO. Pada permukaan baja CO akan terurai ;



Dimana C yang terbentuk ini berupa atom karbon yang dapat masuk berdifusi ke dalam fase austenit dari baja. Dengan adanya energizer proses akan lebih mudah berlangsung karena meskipun udara yang terperangkap sedikit, tetapi energizer menyediakan CO₂ yang akan segera mulai mengaktifkan reaksi - reaksi selanjutnya.



Kotak sementara

Potongan Diagram Fase Fe-Fe₃C

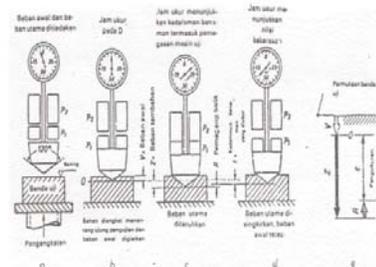
2. Menggunakan medium cair atau *Liquid Carburizing*

Pada karburasi yang menggunakan medium cair atau *Liquid Carburizing* biasanya pemanasan benda kerja menggunakan garam cair (*salt bath*) yang terdiri dari campuran *sodium cyanide* (NaCN) atau *potasium cyanide* (KCN) yang berfungsi sebagai karburasi agent yang aktif, dengan Na₂CO₃ yang berfungsi sebagai energizer dan penurun titik cair garam.

3. Menggunakan medium gas atau *Gas Carburizing*

Pada proses karburasi menggunakan medium gas atau *gas carburizing*, baja dipanaskan didalam dapur pemanas dengan tekanan (atmosfer) yang banyak mengandung gas CO dan gas *hydrokarbon* misalnya metana, ethana, propana, dan lain – lain. Proses ini dilakukan pada tungku pit (*pit furnace*). Pemanasan dilakukan pada temperatur 900⁰ C - 940⁰ C.

Setelah lapisan kulit mengandung cukup karbon, proses dilanjutkan dengan pengerasan yaitu dengan pendinginan untuk mencapai kekerasan yang tinggi. Disini penguji memakai pengujian kekerasan dengan menggunakan metoda pengujian Rockwell. Pada cara Rockwell pengukuran langsung dilakukan oleh mesin, dan mesin langsung menunjukkan angka kekerasan dari bahan yang diuji. Cara ini lebih cepat dan akurat. Nilai kekerasan dari pengujian Rockwell ini ditentukan oleh perbedaan kedalaman penembusan.



Pengujian Rockwell

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelat Baja S-35C, oli SAE 20-50, arang kayu nani, dan tulang Sapi (CaCO₃). Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah oven Pemanas (Barmsteal Thermolyne Type F-6000), mesin Uji Kekerasan Mitutoyo Type AR-20, tang Jepit, sarung tangan, jaket tahan api, gancu, wadah penampung oli, majun, ampelas, kotak baja.

Proses Uji Kekerasan

Uji kekerasan sebelum proses karburasi dengan metode Rockwell, adalah:

- 1) Benda uji diukur dan kemudian dipotong serta diplas permukaan bendanya.
- 2) Siapkan anvil (landasan uji) padaudukannya.
- 3) Pasangkan penetrator berbentuk piramida intan.
- 4) Pilih beban pada angka 150 Pa.
- 5) Letakan benda uji pada anvil (landasan uji).
- 6) Atur jarum penunjuk dan kencangkan hingga posisi jarum utama dan jarum bantu menunjukkan angka 0.
- 7) Tekan tombol start dan biarkan mesin berproses selama beberapa detik hingga lampu menyala.
- 8) Baca harga kekerasan bahan yang diuji pada dial dan angka yang ditunjukkan oleh jarum utama yang tertulis dengan tinta hitam, satuan pengukuran kekerasan adalah HRC.

- 9) Putar kembali handwheel perlahan-lahan ke posisi semula dan atur benda pada tempat yang belum mengalami pengujian.
- 10) Ulangi langkah 6 – 9 sebanyak 10 kali.
- 11) Catat data hasil pengukuran sebagai data awal untuk benda yang belum diuji

Proses pengujian kekerasan

Temperatur ruangan sebelum pengujian 27°C, masing-masing waktu penahanan dipakai 2 benda uji catatannya :

- Untuk penahanan 15 menit dengan perbandingan 0% Katalisator (Tulang sapi (CaCO_3)) dari 500 gr Karbon (arang kayu nani)
- Untuk penahanan 15 menit dengan perbandingan 10% Katalisator (Tulang sapi (CaCO_3)) dari 500 gr Karbon (arang kayu nani)
- Untuk penahanan 15 menit dengan perbandingan 20% Katalisator (Tulang sapi (CaCO_3)) dari 500 gr Karbon (arang kayu nani)
- Untuk penahanan 15 menit dengan perbandingan 30% Katalisator (Tulang sapi (CaCO_3)) dari 500 gr Karbon (arang kayu nani)
- Untuk penahanan 15 menit dengan perbandingan 40% Katalisator (Tulang sapi (CaCO_3)) dari 500 gr Karbon (arang kayu nani)
- Untuk penahanan 15 menit dengan perbandingan 50% Katalisator (Tulang sapi (CaCO_3)) dari 500 gr Karbon (arang kayu nani)

Sebelum proses Heat Treatment semua benda uji di amplas sampai salah satu sisi menjadi bersih dan diambil nilai kekerasannya menggunakan mesin uji kekerasan (Hardness Testing Machine) Mitutoyo seri AR-20. Indenter yang digunakan adalah kerucut intan atau diamond indenter dengan skala pembebanan 150 Pa (pengujian secara Rockwell) atau HRB. (H = Hardness), (RC = Rockwell).

Langkah- langkah penelitian

- a. Benda uji diukur dan dipotong dan diampelas permukaan bendanya.
- b. Persiapkan Anvil (landasan uji) padaudukannya.
- c. Pasangkan penetrator berbentuk kerucut intan atau diamond Indenter
- d. Pilih beban pada angka 150 Pa.
- e. Putar handwell perlahan-lahan hingga penetratornya menyentuh benda uji lalu atur jarum penunjuk dan kencangkan hingga posisi jarum utama dan jarum bantu menunjuk angka 0.
- f. Tekan tombol start dan biarkan mesin berproses selama beberapa detik hingga lampu menyala.
- g. Baca harga kekerasan benda yang diuji pada dial dan angka yang ditunjukkan oleh jarum utama yang tertulis dengan tinta hitam, satuan kekerasan adalah HRB kemudian catat data hasil pengujiannya.
- h. Putar kembali handwell perlahan-lahan ke posisi semula dan atur penetratornya pada benda uji (S-35C) yang belum mengalami proses pengujian, lalu ulangi langkah tersebut pada poin **f - h**.
- i. Catat data hasil pengujian untuk masing-masing waktu penahanan 15 menit untuk perbandingan Katalisator 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dari 500 gr Karbon (Arang kayu nani) sebagai data awal untuk benda uji (S-35C) sebelum mengalami proses karburising.

Langkah-langkah Karburising Media Padat (Pack Carburizing)

- a. Benda uji (S-35C) setelah diambil data kekerasan awal, benda uji dililitkan dengan kawat baja sebagai tempat pengait untuk mempermudah proses pengangkatan benda uji (S-35C) dalam keadaan panas.
- b. Mencampur Carbon (Arang kayu nani) 500 gr dengan bubuk Tulang sapi (CaCO_3) 0% dari bubuk karbon tersebut didalam kotak sementasi sampai merata.
- c. Benda uji (S-35C) diletakan kedalam kotak sementasi ditimbun dengan bubuk Carbon dan bubuk Tulang sapi (CaCO_3) tadi hingga menutupi permukaan seluruhnya supaya sebentar didalam proses karburising, kedua bubuk tersebut benar-benar menyatu pada permukaan benda uji (S-35C)
- d. Masukkan kotak sementasi kedalam oven pemanas, dan oven ditutup, nyalakan oven pemanas lihat temperatur awal oven 27°C. Tunggu sampai temperatur akhir pemanasan 925°C, dengan penahanan waktu pemanasan 15 menit.
- e. Matikan oven pemanas lalu buka oven pemanas keluarkan kotak sementasi dari dalam oven pemanas dengan menggunakan tang jepit.
- f. Angkat benda uji (S-35C) dari dalam kotak sementasi dengan menggunakan gancu dan dimasukan kedalam media pendingin berupa oli, biarkan hingga dingin.

- g. Angkat benda uji (S-35C) dari dalam media pendingin tersebut, bersikan dari oli dengan menggunakan majun, lalu ampelas salah satu sisi hingga bersih (mengkilap) untuk proses pengujian kekerasan.
- h. Untuk sementasi dengan perbandingan Katalisator 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dari karbon (Arang kayu nani) 500 g, gunakan langkah-langkah proses karburising dari poin *a-g*.
- i. Setelah proses karburising semua benda uji (S-35C) diambil nilai kekerasannya pada proses pengujian kekerasan menggunakan mesin uji kekerasan (Hardness Testing Machine) Mitutoyo seri AR-20.

ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil eksperimen yang dilakukan dapat dilihat pada tabel-tabel berikut :

Nilai Kekerasan Benda Uji dengan komposisi 500 g arang kayu nani (karbon) dan 0% tulang sapi (Pelat A)

Titik Pengujian	Nilai Kekerasan (HRC)	
	Sebelum	Sesudah
1	94,40	113,10
2	95,60	116,40
3	96,20	114,90
4	95,60	117,40
5	96,50	114,90
6	96,80	118,00
7	95,70	116,40
8	98,00	115,50
9	96,40	119,00
10	95,00	116,40
11	96,00	115,70
12	94,80	115,20
13	94,90	118,60
14	94,20	115,10
15	95,50	115,90
16	95,50	116,00
17	96,70	114,20
18	94,50	117,00
19	94,90	117,20
20	95,70	116,90

Hasil penelitian menunjukkan pelat A dengan 20 titik pengujian, nilai kekerasan rata-rata sebelum proses pack carburizing adalah 95,65 dan setelah proses pack carburizing 116,19.

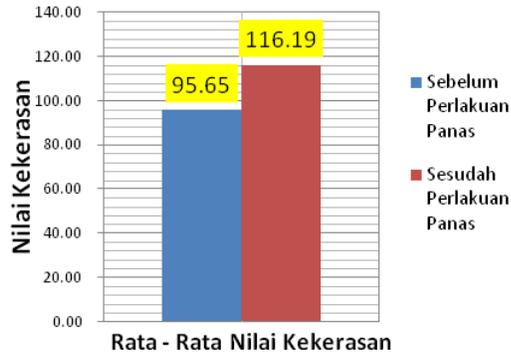
$$\Delta \text{ Nilai kekerasan rata-rata pelat A} = 116,19 - 95,65 = 20,54$$

Untuk laju proses karburasi diperoleh dengan :

$$\text{Laju Proses Karburisasi} = \frac{\Delta \text{Nilai Kekerasan}}{\text{Waktu Pemahanan}}$$

$$= \frac{20,54}{13 \text{ menit}} = 1,57 \frac{\text{HRC}}{\text{menit}}$$

**Nilai Kekerasan Rata - Rata Pelat A
(Karbon 100% - CaCO3 0%)**



Nilai kekerasan rata-rata pelat A sebelum dan sesudah proses Karburasi

Nilai Kekerasan Benda Uji dengan komposisi 10% tulang sapi (Pelat B)

Titik Pengujian	Nilai Kekerasan (HRC)	
	Sebelum	Sesudah
1	93,50	114,50
2	96,50	115,00
3	97,20	117,00
4	96,60	120,25
5	96,20	120,25
6	96,00	119,00
7	97,50	123,00
8	97,30	115,50
9	95,60	125,50
10	98,00	116,00
11	99,00	123,00
12	101,00	115,00
13	99,50	116,50
14	99,50	117,00
15	98,00	120,50
16	100,00	119,00
17	98,00	116,75
18	99,00	114,00
19	97,30	123,00
20	104,00	117,00

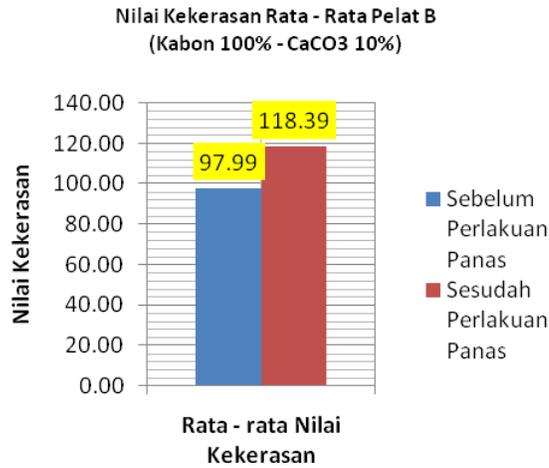
Hasil penelitian menunjukkan pelat B dengan 20 titik pengujian, nilai kekerasan rata-rata sebelum proses pack carburizing adalah 97,99 dan setelah proses pack carburizing 118,39.

$$\Delta \text{ Nilai kekerasan rata-rata pelat B} = 118,39 - 97,99 = 20,40$$

Untuk laju proses karburasi, diperoleh :

$$\text{Laju Proses Karburisasi} = \frac{\Delta \text{Nilai Kekerasan}}{\text{Waktu Penahanan}}$$

$$= \frac{20,40}{18 \text{ menit}} = 1,13 \frac{\text{HRC}}{\text{menit}}$$



Nilai kekerasan rata-rata pelat B sebelum dan sesudah proses Karburasi

Nilai Kekerasan Benda Uji dengan komposisi 20% tulang sapi (Pelat C)

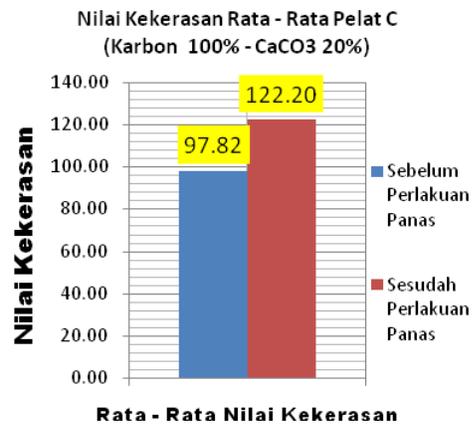
Titik Pengujian	Nilai Kekerasan (HRC)	
	Sebelum	Sesudah
1	100,30	126,50
2	98,00	124,50
3	97,00	127,50
4	99,40	126,50
5	97,80	122,75
6	98,00	120,75
7	98,80	121,50
8	98,20	122,00
9	98,50	128,00
10	96,30	125,50
11	96,00	114,00
12	98,50	120,00
13	98,50	120,00
14	98,00	120,75
15	97,50	122,25
16	96,50	119,50
17	97,00	118,50
18	99,50	120,25
19	97,50	124,75
20	95,00	118,50

Hasil penelitian menunjukkan pelat C dengan 20 titik pengujian, nilai kekerasan rata-rata sebelum proses pack carburizing adalah 97,82 dan setelah proses pack carburizing 122,20.

$$\Delta \text{ Nilai kekerasan rata-rata pelat C} = 122,20 - 97,82 \\ = 24,38$$

Untuk laju proses karburasi, diperoleh :

$$\text{Laju Proses Karburasi} = \frac{\Delta \text{Nilai Kekerasan}}{\text{Waktu Penahanan}} = \frac{24,38}{15 \text{ menit}} = 1,62 \frac{\text{HRC}}{\text{menit}}$$



Nilai kekerasan rata-rata pelat C sebelum dan sesudah proses Karburasi

Nilai Kekerasan Benda Uji dengan komposisi 30% tulang sapi (Pelat D)

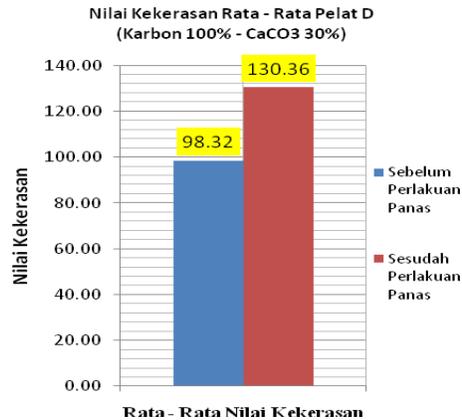
Titik Pengujian	Nilai Kekerasan (HRC)	
	Sebelum	Sesudah
1	96,00	132,00
2	96,50	131,00
3	97,00	127,00
4	97,00	128,00
5	97,50	132,00
6	95,50	127,00
7	97,00	131,50
8	96,50	134,50
9	95,50	131,00
10	95,50	128,50
11	100,50	132,00
12	100,50	131,50
13	100,60	128,50
14	99,50	127,00
15	99,80	130,00
16	99,40	128,50
17	102,00	132,00
18	100,20	131,75
19	99,00	130,50
20	100,80	133,00

Hasil penelitian menunjukkan pelat D dengan 20 titik pengujian, nilai kekerasan rata-rata sebelum proses pack carburizing adalah 98,32 dan setelah proses pack carburizing 130,36.

$$\Delta \text{ Nilai kekerasan rata-rata pelat D} = 130,36 - 98,32 = 32,05$$

Untuk laju proses karburasi, diperoleh :

$$\text{Laju Proses Karburasi} = \frac{\Delta \text{Nilai Kekerasan}}{\text{Waktu Penahanan}} = \frac{32,05}{15 \text{ menit}} = 2,14 \frac{\text{HRC}}{\text{menit}}$$



Nilai kekerasan rata-rata pelat D sebelum dan sesudah proses Karburasi
 Nilai Kekerasan Benda Uji dengan komposisi 40% tulang sapi (Pelat E)

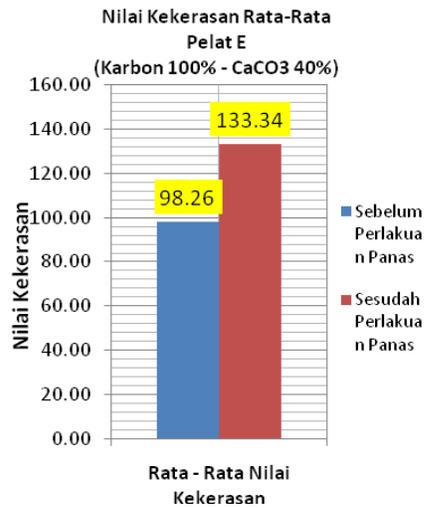
Titik Pengujian	Nilai Kekerasan (HRC)	
	Sebelum	Sesudah
1	97,50	132,50
2	98,50	131,00
3	99,50	128,75
4	99,40	127,00
5	97,50	130,50
6	97,50	134,00
7	96,80	133,50
8	98,50	128,50
9	99,50	128,00
10	97,20	129,00
11	99,50	132,50
12	98,50	134,00
13	98,00	137,00
14	98,00	134,00
15	100,00	138,00
16	98,00	139,00
17	98,50	140,50
18	97,50	137,50
19	97,40	138,00
20	97,80	133,50

Hasil penelitian menunjukkan pelat E dengan 20 titik pengujian, nilai kekerasan rata – rata sebelum proses pack carburizing adalah 98,26 dan setelah proses pack carburizing 133,34.

$$\Delta \text{ Nilai kekerasan rata-rata pelat E} = 133,34 - 98,26 = 35,08$$

Laju proses karbonisasi untuk pelat E didapatkan dari:

$$\text{Laju Proses Karbonisasi} = \frac{\Delta \text{Nilai Kekerasan}}{\text{Waktu Pemahanan}} = \frac{98,08}{17 \text{ menit}} = 2,84 \frac{\text{HRC}}{\text{menit}}$$



Nilai kekerasan rata-rata pelat E sebelum dan sesudah proses Karburasi

Nilai Kekerasan Benda Uji dengan komposisi 50% tulang sapi (Pelat F)

Titik Pengujian	Nilai Kekerasan (HRC)	
	Sebelum	Sesudah
1	96,50	134,00
2	97,20	138,50
3	95,20	141,00
4	98,10	142,00
5	97,20	134,00
6	97,30	134,00
7	99,70	132,50
8	98,10	140,00
9	97,50	136,50
10	97,50	142,50
11	95,30	146,00
12	99,10	143,00
13	97,50	143,00
14	97,50	147,00
15	97,20	146,00
16	97,30	142,25
17	96,90	144,75
18	98,40	146,50
19	96,70	145,00
20	96,50	147,25

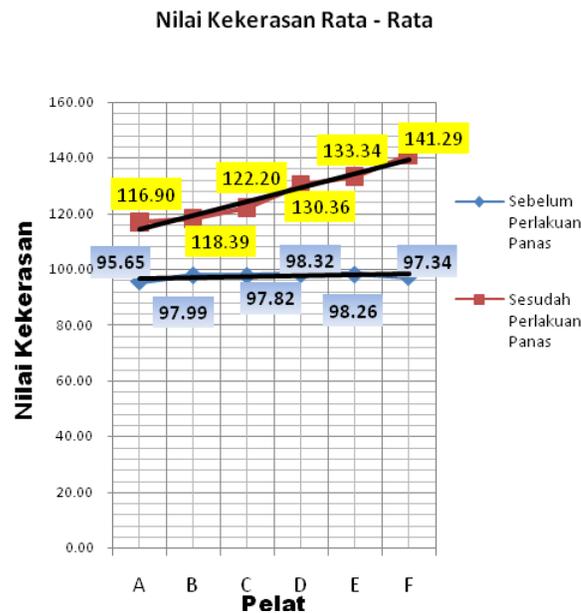
Hasil penelitian menunjukkan pelat E dengan 20 titik pengujian, nilai kekerasan rata-rata sebelum proses pack carburizing adalah 98,26 dan setelah proses pack carburizing 133,34.

$$\Delta \text{ Nilai kekerasan rata-rata pelat F} = 141,29 - 98,34 \\ = 43,95$$

Laju proses karbonisasi untuk pelat F didapatkan dari:

$$\text{Laju Proses Karbonisasi} = \frac{\Delta \text{Nilai Kekerasan}}{\text{Waktu Penahanan}} = \frac{43,95}{15 \text{ menit}} = 2,93 \frac{\text{HRC}}{\text{menit}}$$

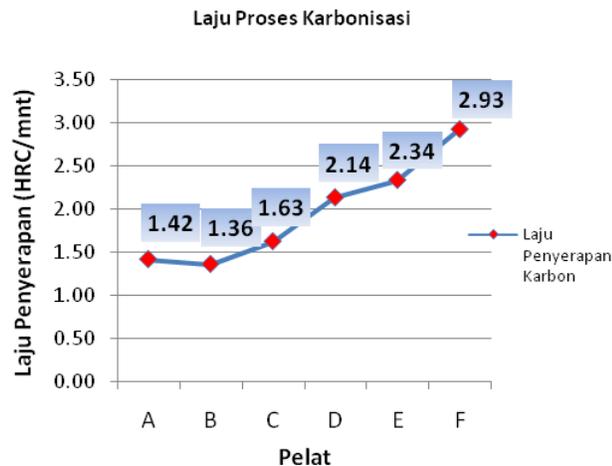
Seiring dengan penambahan komposisi tulang sapi, nilai kekerasan sesudah *pack carburizing* juga semakin meningkat. Berikut gambar yang menunjukkan peningkatan nilai kekerasan rata-rata untuk tiap pelat.



Nilai Kekerasan Rata – Rata Tiap Pelat

Dari grafik dapat dilihat bahwa peningkatan nilai kekerasan tertinggi terjadi pada Pelat F, dimana terdapat 50% persentasi katalisator, sebesar 141,29, dari nilai kekerasan rata-rata awal 97,34. Nilai kekerasan pada pelat ini meningkat sekitar 45,15%.

Peningkatan nilai kekerasan ini terjadi setelah proses *pack carburizing*, semakin tinggi persentasi katalisator, penyerapan karbon yang terjadi saat proses *pack carburizing* semakin cepat. Penyerapan karbon yang terjadi dapat dilihat pada gambar berikut.



Laju Proses Karburasi

Grafik menunjukkan bahwa semakin tinggi persentasi katalisator pada proses pack carburizing, semakin cepat pula proses penyerapan karbon. Pengecualian pada pelat B (500 gr arang, 10% tulang sapi), dimana proses penyerapan karbon cenderung menurun. Ini terjadi karena persentasi katalisator yang masih sedikit dan kurang memberikan pengaruh pada proses penyerapan karbon

KESIMPULAN

Penelitian menunjukkan bahwa tulang sapi dapat dipergunakan sebagai alternatif katalisator pengganti BaCO₃ (Barium Carbonat) dalam proses Karburasi Padat. Laju penyerapan karbon paling cepat terjadi pada proses dengan komposisi 500 g karbon (arang kayu nani) dan 50% tulang sapi yaitu sebesar 2,93 HRC/menit. Peningkatan nilai kekerasan rata-rata terbesar juga terjadi pada komposisi 50%, sebesar 45,15%.

DAFTAR PUSTAKA

- Beumer Ing, B. J. M., (1994): *Ilmu Bahan Logam*. Terjemahan B. S. Anwir. Jilid III. Penerbit Bhatara. Jakarta
- Hari, A. dan Daryanto. (1999): *Ilmu Bahan*. Bumi Aksara. Jakarta.
- Materi kuliah Ilmu Bahan. ITS. Surabaya
- Mochyidin, A., (2004): *Analisa Pengaruh Waktu Tahan Terhadap Baja Karbon Rendah Dengan Metode Pack Carburizing*. <http://One.Indoskripsi.Com/Node/>
- Odink, A., (1947): *Ensiklopedia Material Untuk Konstruksi Permesinan*. Edisi Ketiga. Moskow. Pengetahuan Bahan 2. ITB. Bandung.
- Schonmentz, I. A., dkk. (1985): *Pengetahuan Bahan Dan Pengerjaan Logam*. Penerbit Angkasa. Bandung
- Suratman, Rochim., (1994): *Panduan Proses Perlakuan Panas*. Lembaga Penelitian ITB. Bandung
- Van Vlack, L., (1992): *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Terjemahan Srianti Djaprie. Edisi Kelima. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Wardoyo, J. T., (2005): *Metode Peningkatan Tegangan Tarik Dan Kekerasan Pada Baja Karbon Rendah Melalui Baja Fasa Ganda*. <http://www.indoskripsi.com>

