

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Karburisasi (*carburizing*)

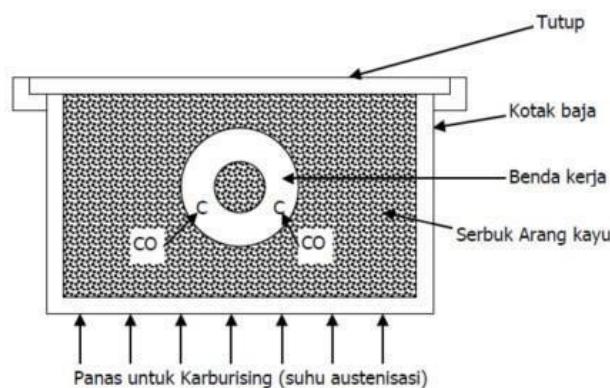
Karburisasi adalah proses termokimia atau perawatan kepala kimia yang mengubah komposisi kimia permukaan baja untuk meningkatkan unsur karbon. Ini dilakukan pada suhu 850 °C –950°C, sehingga atom aktif karbon dapat berdifusi ke permukaan dan mencapai tujuan tertentu. Jika proses ini dilakukan dengan benar, permukaan baja akan menjadi lebih keras, sedangkan inti tetap liat.

#### 2.2 Pack *carburizing*

Karburisasi padat adalah proses karburisasi permukaan benda kerja dengan menggunakan karbon yang dihasilkan dari bubuk arang. Bahan yang biasa digunakan untuk proses ini adalah arang tempurung kelapa, arang kokas, arang kayu, arang kulit, atau arang tulang. Benda kerja yang akan dikarburisasi dimasukkan ke dalam kotak karburisasi yang telah diisi dengan media karburisasi sebelumnya. Selanjutnya, benda kerja ditimbun dengan bahan karburisasi dan benda kerja tambahan diletakkan di atasnya. Prosedur ini dilanjutkan dengan langkah-langkah berikut.

Setiap jenis bahan yang digunakan sebagai karbon memiliki kandungan karbon yang berbeda. Kandungan karbon dalam unsur bahan karbon yang lebih tinggi meningkatkan penetrasi karbon ke permukaan baja. Untuk mempercepat proses karburisasi dalam proses *pack carburizing*, bahan karbonat, atau activator, ditambahkan pada arang. Barium karbonat (BaCO<sub>3</sub>) dan soda abu (NaCO<sub>3</sub>) adalah bahan activator yang paling umum digunakan, yang ditambahkan secara bersamaan antara sepuluh hingga empat puluh persen dari berat arang. Ada pendapat lain yang

menyatakan bahwa karburisasi juga dapat terjadi tanpa activator; ini karena oksigen dari udara yang terperangkap dalam kotak pertama-tama mengoksidir karbon menjadi CO<sub>2</sub> (Nurhilal and Cilacap, 2017).



Gambar 2.1 Ilustrasi proses pack carburizing  
(sumber :<https://muhanabil.wordroprees.com/20120>)

Untuk mencegah reaksi antara media karbusasi dan udara terjadi, kotak karbusasi yang dipanaskan harus ditutup rapat. Ini disebabkan oleh fakta bahwa atom karbon (karbon nascent) yang aktif berdifusi masuk ke dalam fase austenit baja saat baja dalam larutan berada pada gamma fase austenit selama proses karburisasi. Salah satu cara untuk menghindari masalah ini adalah dengan menggunakan kotak karburasi untuk melapisi tutup dengan tanah liat, atau clay. Dalam dapur, kotak karburasi dipanaskan sampai 825-925 °C. Permukaan benda kerja segera menyerap karbon, mencapai 1,2 %. Proses karburisasi padat biasanya digunakan untuk membuat lapisan yang tebal antara 0,75-4 mm.

Pada mode *pack carburizing*, bagian yang akan dikarburasi dimasukkan ke dalam kotak yang berisi media karburasi, atau media penambah unsur karbon. Bahan: Karburasi dapat dilakukan dengan menggunakan bahan alam seperti arang pohon

baku, arang sekam padi, arang kayu, arang tempering kelapa, dan arang batu baterai bekas.

Karbon aktif adalah karbon yang pori-porinya terbuka dan memiliki daya serap yang tinggi. Karbon aktif adalah karbon yang bebas dengan permukaan dalam, yang memungkinkannya memiliki daya serap yang tinggi. Karbon aktif berwarna hitam, tidak berbau, dan tidak berasa, dengan permukaan yang luas (300–400 m/gram), memiliki daya serap yang lebih besar daripada karbon aktif yang belum menjalani proses aktivasi, dan jumlah senyawa karbonnya berkisar antara 85–95% karbon bebas.. Karbon aktif bubuk dan karbon aktif granular adalah dua bentuk karbon aktif yang berbeda berdasarkan ukuran butirannya.

Karbon aktif adalah bentuk arang yang telah diaktifasi dengan menggunakan gas CO<sub>2</sub>, uap air, atau bahan-bahan kimia. Ini membuka pori-porinya dan meningkatkan daya absorpsinya terhadap zat warna dan bau. Karbon aktif mengandung 5–15 persen air, 2–3 persen abu, dan karbon sisa. Karbon aktif berbentuk amorf, terdiri dari pelat datar dengan atom C terikat secara konvulen dalam kisi heksagonal datar dengan satu atom C pada setiap sudutnya. Pelat-pelat ini bertumpuk satu sama lain, membentuk kristal-kristal dengan sisa hidrokarbon dan senyawa organic lain yang tertinggal pada permukaannya. Bahan baku karbon aktif dapat berasal dari bahan nabati atau turunannya serta bahan hewani.

### **2.3 Holding Time**

Waktu pemanasan, atau waktu penahanan, yang diperlukan untuk mendapatkan kekerasan paling tinggi dari suatu bahan selama proses perlakuan panas dengan menahan bahan pada temperatur pengerasan untuk mencapai pemanasan yang

homogen, sehingga struktur austeniknya homogen atau karbida larut dalam austenik dan terjadi difusi karbon.

Setelah mencapai suhu kritis atas, fase struktur hampir semuanya austenit. Namun, austenit masih berbutir-butir halus dan kadar karbon dan unsur-unsur lainnya belum homogen. Akibatnya, diperlukan waktu yang lama untuk menyelesaikan proses ini (Karmin, 2009).

*Holding Time* dari berbagai jenis baja pada yang umum diantaranya sebagai berikut.

1. Baja konstruksi dari baja karbon dan baja paduan rendah; yang mengandung karbida yang mudah larut, diperlukan holding time yang singkat, 515 menit setelah mencapai temperatur pemanasannya dianggap sudah memadai.
2. Baja konstruksi dari baja paduan menengah dianjurkan menggunakan holding time 15 – 25 menit, tidak tergantung ukuran benda kerja.
3. Low alloy tool steel; memerlukan holding time yang tepat agar kekerasan yang diinginkan dapat tercapai. Dianjurkan menggunakan 0,5 menit per millimeter tebal benda, atau 10 – 30 menit
4. High alloy chrome steel ; membutuhkan holding time yang paling panjang diantara semua baja perkakas, juga tergantung pada temperatur pemanasannya. Juga diperlukan kombinasi temperatur dan holding time yang tepat. Biasanya dianjurkan menggunakan 0,5 menit per millimeter tebal benda dengan minimum 10 menit, maksimum 3jam.
5. Hot work tool steel; mengandung karbida yang sulit larut, baru akan larut pada suhu 1000° C. Pada temperatur ini kemungkinan terjadinya pertumbuhan butir sangat besar, karena itu holding time harus dibatasi, 15– 30 menit.

6. High speed steel; memerlukan temperatur pemanasan yang sangat tinggi  $1200^{\circ}\text{C}$  -  $1300^{\circ}\text{C}$ . Untuk mencegah terjadinya pertumbuhan holding time diambil hanya beberapa menit saja.

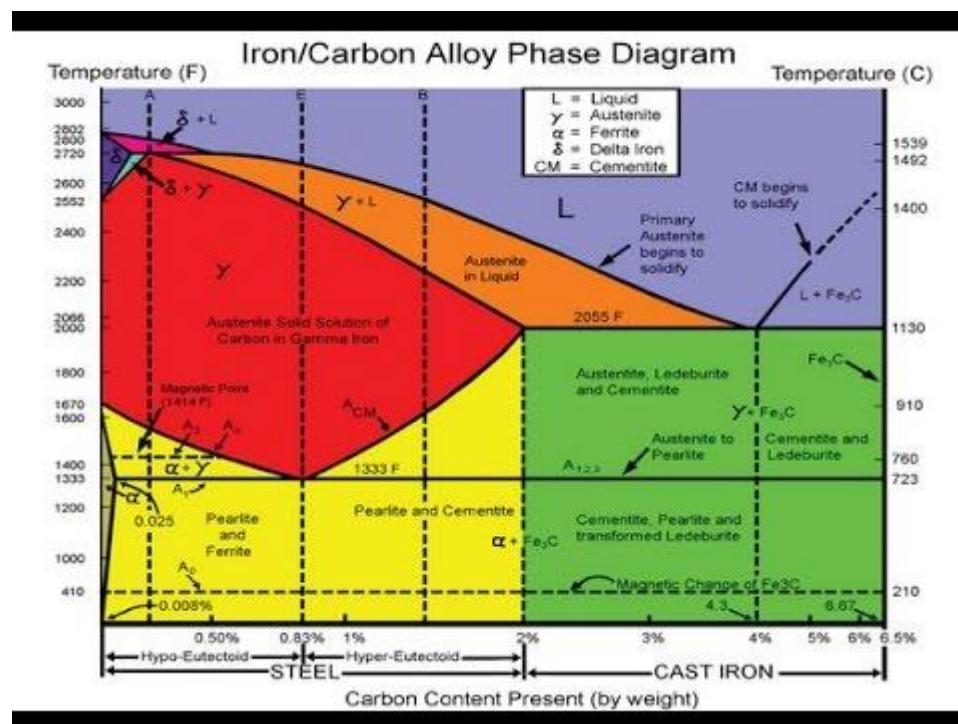
## 2.4 Baja

Baja adalah logam paduan antara besi (Fe) dan karbon (c), dimana besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,1 % hingga 1,7 % sesuai tingkatnya. Dalam proses pembuatan baja akan terdapat unsur – unsur lain selain karbon yang akan tertinggal didalam baja seperti mangan (Mn), silicon (Si), kromium (Cr), vanadium (v) dan unsur Mn, Si, S, P, N, H yang akan memberikan pengaruh terhadap perubahan stuktur, titik eutektik dan kecepatan pendinginan, sehingga akan meningkatkan sifat-sifat mekanik seperti kekerasan, keuletan, ketahanan karat, dan ketahanan panas (Waas and Waas, 2020).

### 2.4.1 Jenis baja secara garis besar

Baja merupakan paduan besi dari besi, karbon dan elemen – elemen lain dimana kandungan karbonnya kurang dari 2%, baja kerbon merupakan paduan sederhana antara besi dan karbon, dimana karbon merupakan unsur yang menentukan nilai keuletan dan kekerasan dari baja,

Baja Berdasarkan komposisi dalam prakteknya, baja terdiri dari beberapa macam yaitu: baja karbon (*carbon steel*), dan baja paduan (*alloy steel*). Gambar 2.2 menunjukkan diagram fasa Fe – FeC. Wilayah pada diagram dengan kadar karbon dibawah 2% menjadi perhatian proses *heat treatment* utama untuk pada baja hingga mencair dengan proses pendinginan secara perlahan – lahan, sedangkan pada proses pendinginan cepat, menggunakan diagram CCT (*continuous colling temperatur*)



Gambar 2.2 Diagram fase Fe – Fe<sub>3</sub>C  
(sumber. Japrie, 1983)

#### 2.4.2 Klasifikasi baja

Berdasarkan tinggi rendahnya presentase karbon didalam baja dan Dalam praktek penggunaannya baja karbon dapat dikelompokan menurut kepentingan yang berbeda-beda. Menurut (Waas and Waas, 2020) berdasarkan komposisi kimianya, atau berdasarkan kandungan karbonya, baja karbon dikelompokan menjadi tiga yaitu meliputi:

- a) Baja karbon rendah (*low carbon steel*). Baja karbon rendah mengandung karbon antar 0,1 s/d 0,30 %. Baja karbon ini dalam perdangan dibuat dalam palat baja, baja strip, dan baja Batangan atau profil.
- b) Baja karbon sedang (*medium carbon steel*). Baja karbon sedang mengandung karbon 0,30 – 0,60%,C dan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan sebagian dengan penggerjaan panas (*heat treatment*) yang sesui. Proses

pengrajin menaikkan kekuatan baja dengan cara digiling. Baja karbon sedang digunakan untuk sejumlah peralatan mesin seperti roda gigi otomotif, poros bungkus, poros engkol, sekrup sungkup, dan alat angkat presisi.

c) Baja karbon tinggi (*High Carbon steel*). Baja karbon tinggi yang mengandung kadar karbon antara 0,60– 1,7% C. baja ini mempunyai tengangan Tarik paling tinggi dan banyak digunakan untuk *material tools*. Salah satu aplikasi dari baja ini adalah dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah yang terkandung didalam baja maka baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas, alat – alat perkakas seperti palu, gergaji atau alat potong.

1) Baja paduan

Baja paduan adalah baja yang mempunyai kadar karbon sama dengan baja lunak, tetapi ditambah dengan sedikit unsur-unsur paduan, penambahan unsur ini dapat meningkatkan kekuatan baja tanpa mengurangi keuletannya. Baja paduan banyak digunakan untuk bahan konstruksi dan permesinan. Baja paduan dibagi dalam 2 jenis diantaranya yaitu

2) Baja paduan rendah.

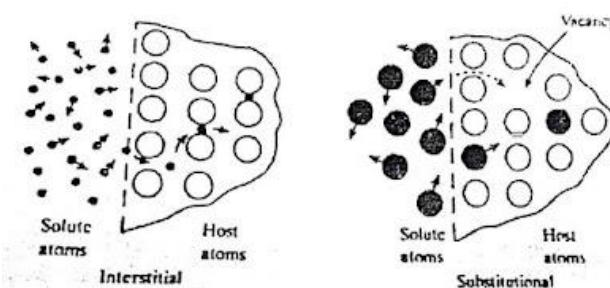
*Low alloy steel* atau baja paduan dengan kadar unsur paduan rendah (kurang dari 10) mempunyai kekuatan dan ketangguhan lebih tinggi dari baja karbon dengan kekuatan yang sama.

3) Baja paduan tinggi (*High alloy steel*).

baja paduan dengan unsur paduan tinggi, mempunyai sifat khusus tertentu, bahan tahan karat, (*stainless steel*) baja perkakas (*tool steel*, misalnya *High speed steel*, HSS), dan baja tahan panas (*heatresisting*)

### 2.4.3 Disfusi baja.

Jika kita ingin melakukan pengerasan pada baja dimana tidak memiliki banyak kandungan karbon dan paduan lain untuk dikeraskan dengan *quenching*. Perlakuan difusi dapat diterapkan untuk menambah elemen paduan pada permukaan yang akan dikeraskan.



Gambar 2.3 Proses terjadinya difusi  
(sumber: Budinski, 1999)

Disfusi adalah perpindahan secara spontan pada atom atau molekul dalam suatu bahan yang cenderung untuk menjaga keseragaman komposisi secara keseluruhan. Ada dua acara suatu atom padat dapat terdisfusi kedalam logam induk. Gambar 2.3 memperlihatkan atom padat yang kecil menuju ruang kosong antar atom – atom logam induk. Ini disebut *intersital diffusion*. Jika ingin mendifusikan atom yang besar kedalam logam induk, tentu akan terlalu besar untuk dapat mengisi ruang kosong yang ada. Dalam kasus ini, *substitutional diffusion* mungkin dapat terjadi. Atom padat mencari jalannya sendiri untuk menemukan kekosongan atom dalam logam induk dan menempatinya. Kekosongan atom adalah tempat atom yang seharusnya terisi atom tetapi tidak terdapat atom di tempat tersebut.

Beberapa teori difusi secara praktis dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Proses difusi untuk pengerasan baja membutuhkan temperatur yang tinggi, lebih besar dari 900°F (482°C).
2. Agar difusi dapat logam induk harus memiliki kosnsentrasi yang lebih banyak pada lingkungan atau sebaliknya
3. Difusi hanya akan terjadi ketika atom – atom yang cocok antara atom pendifusi dan logam induk.

#### **2.4.4 Sifat mekanik baja**

Sifat mekanik baja suatu bahan adalah kemampuan bahan untuk menambah beban-beban yang dikenakan padanya, beban beban tersebut dapat berupa beban Tarik, tekan, bengkok, geser, punter, atau beban kombinasi (Sardi, Jokosisworo and Yudo, 2018).

Sifat-sifat yang terpenting antara lain :

1. Kekuatan (*stergh*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan tersebut menjadi patah, kekuatan ini ada beberapa macam, dan ini tergantung pada beban yang bekerja antara lain dapat di lihat dari kekuatan tekan, kekuatan punter, dan kekuatan bengkok.
2. Kekerasan (*hardness*) dapat didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk bertahan terhadap goresan, pengikisan (abrasi), penetrasi. Sifat-sifat ini berkaitan erat dengan sifat keausan (*wear resistance*). Dimana kekerasan ini juga mempunyai korelasi dengan kekuatan.
3. Kekenyalan (*elasticity*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen stelah tegangan dihilangkan. Kekenyalan juga menyatakan seberapa banyak perubahan bentuk yang

permanen mulai terjadi, dengan kata lain kekenyalan dapat menyatakan kemampuan bahan kemampuan untuk kembali kebentuk dan ukuran semula setelah menerima beban yang menimbulkan deformasi

4. Kekakuan (*stiffness*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan atau beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan untuk deformasi atau deflektif
5. Plastisitas (*plasticity*) menyatakan kemampuan bahan untuk mengalami sejumlah deformasi plastis yang permanen tanpa mengakibatkan terjadinya keausan. Sifat ini sangat diperlukan bagi bahan yang akan diproses dengan berbagai proses pembentukan seperti, *forging, rolling, extruding* dan sebagainya. Sifat ini sering juga disebut keuletan / kekenyalan (*ductility*)
6. Ketangguhan (*toughness*) menyatakan kemampuan bahan untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Juga dapat dikatakan sebagai ukuran banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan suatu benda kerja, pada suatu kondisi tertentu. Sifat ini dipengaruhi oleh banyak faktor sehingga sifat ini sulit untuk diukur.
7. Kelelahan (*fatigue*) merupakan kecenderungan dari logam untuk patah apabila menerima tegangan berulang-ulang (*cyclic stress*) yang besarnya masih jauh dibawah batas kekuatan elastisitasnya.
8. Keretakan (*creep*) merupakan kecenderungan suatu logam mengalami deformasi plastis yang besarnya merupakan fungsi waktu, pada saat bahan tersebut menerima beban yang besarnya relative tetap.

## 2.5 Kekerasan

Ketahanan sebuah benda (benda kerja) terhadap penetrasi atau daya tembus bahan lain yang lebih keras (penetrator) dikenal sebagai kekerasan. Kekerasan suatu bahan, seperti baja, dapat diukur dengan menggunakan mesin uji kekerasan, yang dikenal sebagai tester kekerasan. Metode yang paling umum digunakan adalah metode *Brinell*, *Rockwell*, dan *Vickers* (Purnomo *et al.*, 2019).

Tujuan pengujian kekerasan adalah untuk mengevaluasi panas dan mendeteksi pengerasan atau pelunakan akibat panas berlebih, dekarburisasi, atau pengerasan permukaan.

Metode yang digunakan adalah metode *rockwell*. Metode ini paling banyak digunakan di laboratorium pengujian logam, karena angka kekerasan bahan uji dapat ditentukan dengan cepat dan mudah dengan metode ini, dimana angka kekerasan *rockwell* dapat dibaca langsung pada alat uji yang digunakan. Selain itu, pengujian ini memiliki fungsi yang cukup luas, yang memungkinkan untuk digunakan pada berbagai jenis dan sifat material dengan skala kekerasan yang tersedia untuk aplikasi yang berbeda.

Nilai kekerasan *rockwell* dari material diformulasikan sebagai berikut:

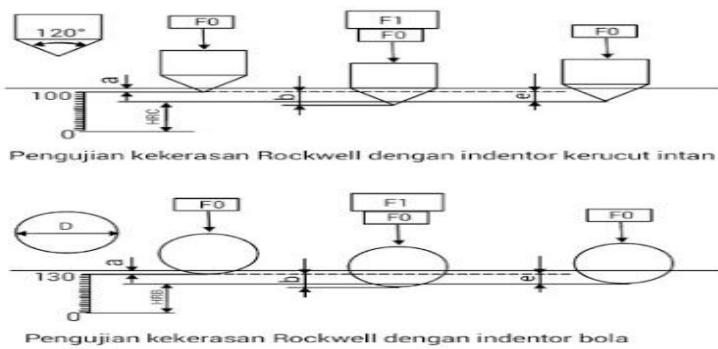
e=h/0,002mm

Nama:

HRb = nilai kekerasan sisipan intan

$HR_c$  = nilai kekerasan lekukan bola

$H$  = kedalaman penetrasi dalam praktiknya, angka kekerasan *rockwell* dapat dibaca langsung dari dial atau ditampilkan di layar saat menggunakan alat uji kekerasan *rockwell* digital.



**Gambar 2.4** Pengujian kekerasan *rockwell* memakai indentor intan dan indentor bola  
(*Istiqlahliyah, 2016*)

## 2.6 Case Depth

*Case Depth* adalah jarak yang diukur tegak lurus terhadap permukaan baja yang telah atau sebelum mengalami proses pengerasan menuju ke inti material dimana ditemukannya kekerasan awal dari material.

*Case depth* juga ditentukan melalui pengukuran kekerasan mikro terhadap penampang melintang benda yang di karburasi.karburasi yang dipanaskan akan mengalami proses pirolisis sekunder atau pembakaran tidak sempurna tingkat kedua dan menghasilkan gas CO akibat reaksi antar karbon dan oksigen.Gas CO akan terurai di permukaan baja karbon rendah menjadi gas  $CO_2$  dan Catom.Catom yang mempunyai keaktifan tinggi akan mudah terdifusi ke dalam besi gamma membentuk

semenit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) di permukaan baja karbon. Gas  $\text{CO}_2$  yang dihasilkan, akan bereaksi kembali pada C dari media padat membentuk CO.

Rumus *case depth* adalah sebagai berikut:

## 2.7 Jurnal rujukan

**Tabel 2.1** jurnal rujukan yang digunakan

NO	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
1	Anwar Nurhayanto; Pengaruh Media Carburizing Arang Sekam Padi dan Arang Tempurung Kelapa Terhadap Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah	untuk menyelediki pengaruh variasi media carburizing terhadap kekerasan dan struktur mikro dari baja karbon rendah pada proses <i>pack carburizing</i> .	penelitian ini media carburizing yang digunakan adalah arang sekam padi dan tempurung kelapa dengan presentase berat sebesar 80% dan bahkan kimia aktif ( $BaCO_3$ ) sebesar 20%. Dalam penelitian ini proses carburizing dilakukan pada temperatur 980°C dengan waktu penahanan 1, 2, dan 3 jam untuk media arang sekam padi dan waktu penahanan 2 jam untuk	Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa media arang tempurung kelapa lebih efektif sebagai media carburizing dibandingkan arang sekam padi. Sekam padi dengan waktu penahanan selama 3 jam diperoleh nilai kekerasan sebesar 570 HV dengan kedalaman pengerasan pada 0,13 mm, sehingga jika menggunakan media arang sekam padi untuk proses <i>pack carburizing</i>

			media tempurung kelapa.	waktu yang digunakan lebih dari 3 jam.
2	Handoko; Pengaruh Variasi Jenis Katalisator dan Holding Time pada Proses Pack Carburizing terhadap Perubahan Komposisi Karbon dan Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah (Low Carbon Steel) St 37	Untuk mengetahui pengaruh ketiga jenis bahan katalisator dan variasi waktu penahanan/holding time pada proses Pack carburizing terhadap perubahan komposisi karbon dan nilai kekerasan yang terjadi pada baja karbon rendah St 37.	penelitian ini dilakukan proses pack carburizing pada baja karbon rendah dengan menggunakan karbon aktif arang tempurung kelapa dan variasi katalisator berupa cangkang ale-ale, cangkang telur, dan tulang sapi. Metode yang digunakan adalah pemanasan pada temperatur austenit 900°C dengan variasi waktu penahanan 30, 60, dan 90 menit kemudian dilakukan quenching menggunakan air, dilanjutkan dengan pengujian kekerasan dengan metode fickers dan pengujian komposisi.	Hasilnya secara umum ketiga jenis katalisator tersebut dapat mempercepat reaksi difusi sehingga terjadi proses penambahan karbon serta semakin lama waktu penahanan mampu memberikan peluang bagi karbon yang terbentuk untuk bertransformasi dari mikrostruktur perlite menjadi mikrostruktur austenit, dan saat dilakukan quenching membentuk mikrostruktur Martensit. Dari ketiga jenis katalis yang menghasilkan kekerasan tertinggi adalah cangkang ale-ale, yaitu dari kekerasan awal 119 HV menjadi 464 HV.

3	Triyono T ;Pengaruh Temperatur Dan Waktu Tahan Pada Proses Karburisasi Cair Terhadap Kekerasan Baja AISI 1025 Dengan Media Pendinginan Air	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur dan waktu tahan pada proses liquid carburizing terhadap peningkatan nilai kekerasan baja AISI 1025. Proses liquid carburizing ini menggunakan variasi temperatur 750°C, 800°C dan 850°C, dengan waktu tahan 30, 60 dan 90 menit. Reagent yang digunakan adalah campuran NaCN 75%, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 5% dan NaCl 20%. Pendinginan dilakukan dengan quenching pada media air.	Pengujian yang dilakukan adalah uji kekerasan mikro Vickers dan pengamatan struktur mikro.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses liquid carburizing dapat meningkatkan nilai kekerasan baja AISI 1025. Peningkatan nilai kekerasan terendah pada temperatur 750°C dan waktu tahan 30 menit yaitu menjadi 249,3 VHN. Kekerasan material sebelum diproses carburizing adalah 193,7 VHN.