

## Pengaruh Temperatur dan Quenching terhadap Nilai Kekerasan Baja ST 37 pada Proses Pack Carburizing dengan Media Arang Tempurung Kelapa

Muhammad Rizki Fadhilah<sup>1</sup> Nanang Burhan<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang,  
Kabupaten Karawang, Provinsi Jawa Barat, Indonesia<sup>1,2</sup>

Email: [muh.rizqii19@gmail.com](mailto:muh.rizqii19@gmail.com)<sup>1</sup>

### Abstrak

Baja merupakan salah satu material yang banyak digunakan sebagai bahan baku industri khususnya permesinan. Baja bersifat ulet, mudah dibentuk, kuat dan keras. Baja ST 37 merupakan baja karbon rendah dengan kandungan karbon (C) kurang dari 0,3% yaitu 0,25%. Karbon merupakan unsur yang mempengaruhi sifat mekanik baja, misalnya keuletan, kekuatan, sifat mampu bentuk dan kekerasan. Karburasi (carburizing) adalah proses penambahan unsur karbon pada permukaan baja. Arang tempurung kelapa sebagai sumber karbon. Dimana, gas karbon yang dihasilkan akan berdifusi ke dalam struktur baja, sehingga kandungan karbonnya semakin meningkat. Pada penelitian ini dilakukan proses karburasi padat (pack carburizing) dengan variasi suhu 850°C dan 950°C dengan waktu penahanan masing-masing 2 jam, kemudian dilakukan quenching langsung menggunakan air dan larutan garam. Dari hasil uji kekerasan micro Vickers, nilai kekerasan baja sebelum pack carburizing sebesar 286,62 HV, kemudian kekerasan meningkat hingga nilai tertinggi pada suhu 950°C diperoleh nilai sebesar 822,04 HV dengan quenching larutan garam. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan kekerasan yang terjadi pada baja ST 37.

**Kata Kunci:** Baja ST 37, Karburasi Padat, Arang Tempurung Kelapa, Pendinginan, Kekerasan.

### Abstract

Steel is a material that is widely used as a raw material for industry, especially machinery. Steel is ductile, easy to shape, strong and hard. ST 37 steel is low carbon steel with a carbon (C) content of less than 0.3%, namely 0.25%. Carbon is an element that influences the mechanical properties of steel, for example ductility, strength, formability and hardness. Carburizing (pack carburizing) is the process of adding carbon elements to the surface of steel. Coconut shell charcoal as a carbon source. Where, the carbon gas produced will diffuse into the steel structure, so that the carbon content increases. In this research, the pack carburizing process was carried out with varying temperatures of 850°C and 950°C with a holding time of 2 hours each, then direct quenching using water and brine. From the results of the Vickers micro hardness test, the steel hardness value before pack carburizing is 286.62 HV, then the hardness increased to the highest value at a temperature of 950°C, obtaining a value of 822.04 HV by quenching the brine. This shows that there is an increase in hardness that occurs in ST 37 steel.

**Keywords:** ST 37 Steel, Pack Carburizing, Coconut Shell Charcoal, Quenching, Hardness



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

### PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya perkembangan zaman, jika diperhatikan segala kebutuhan manusia tidak terlepas dari unsur logam, karena hampir semua alat yang digunakan manusia terbuat dari unsur logam. Tentu bahwa logam mempunyai peranan aktif dalam teknologi guna menunjang kebutuhan manusia di zaman sekarang. Dengan begitu peran logam dalam teknologi industri sangat penting, sehingga berbagai usaha dilakukan untuk memperbaiki sifat-sifat dari logam terutama mengubah sifat mekanis dan fisiknya. Sifat mekanik dari logam yaitu kekerasan, kekuatan, keuletan, dan lain-lain. Sedangkan sifat fisik yaitu dimensi, konduktivitas listrik, struktur mikro, densitas, dan lain-lain [1]. Karena banyaknya permintaan dalam

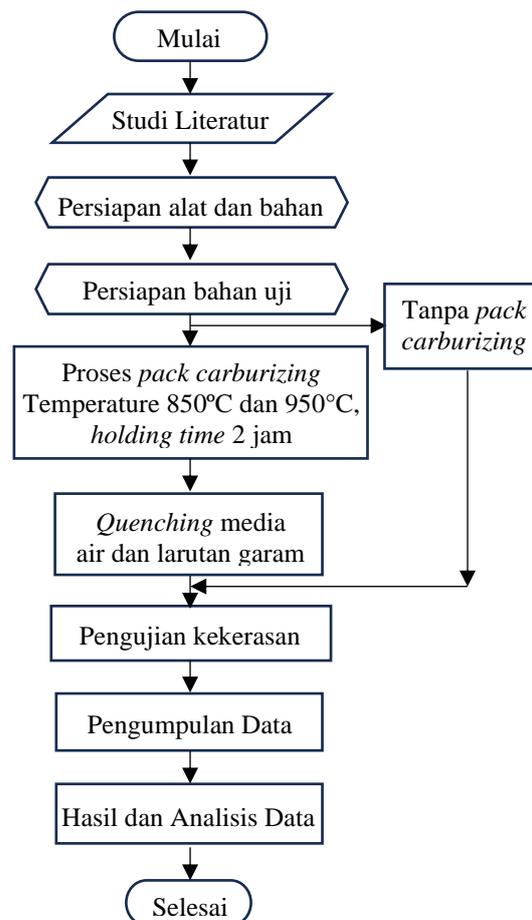
pemilihan suatu bahan, maka dipersempit pemilihan bahan tersebut sesuai dengan kegunaannya. Salah satu jenis logam yang sering dipakai kegunaannya adalah baja. Baja adalah bahan material yang banyak digunakan dalam konstruksi mesin, karena baja memiliki sifat ulet mudah dibentuk, kuat maupun keras. Selain itu baja dengan unsur utama besi (Fe) dan karbon (C) bisa dipadukan dengan unsur lain seperti Cr, Ni, Ti, dan sebagainya, untuk mendapatkan sifat mekanik seperti yang diinginkan [2]. Karbon merupakan salah satu unsur yang memengaruhi sifat mekanik pada baja, misalnya keuletan, kekuatan, mampu dibentuk, maupun kekerasan. Kekerasan baja sangat tergantung pada karbon yang terkandungnya. Dalam pengaplikasiannya, salah satu komponen pemesinan yang membutuhkan sifat kekerasan pada baja yaitu roda gigi (gear).

Roda gigi merupakan roda penggerak yang berfungsi untuk mentransmisikan daya dan putaran dari satu poros ke poros yang lain. Pada mesin dengan tingkat presisi yang tinggi dan membutuhkan rasio kecepatan yang tepat, penggunaan sistem transmisi roda gigi merupakan pilihan yang tepat. Roda gigi adalah suatu komponen yang permukaannya saling bergesekan satu sama lain, untuk itu diperlukan sifat keras dan tahan keausan. Sedangkan pada bagian inti tetap ulet untuk menghindari terjadinya keretakan atau patah. Material dasar (raw materials) dalam pembuatan roda gigi umumnya menggunakan baja karbon sedang atau baja karbon tinggi. Jenis baja ini memiliki kemampuan untuk dikeraskan secara langsung karena kandungan karbonnya yang tinggi, namun baja ini memiliki kelemahan yaitu harganya lebih mahal dan lebih sulit di-machining dibandingkan baja karbon rendah. Baja karbon rendah memiliki kelebihan yaitu lebih mudah di-machining, tetapi tidak bisa dikeraskan secara langsung karena kandungan karbonnya yang kurang dari 0,3%. Untuk dapat dikeraskan, baja karbon rendah harus ditambahkan unsur karbon terlebih dahulu atau disebut dengan proses karburasi (carburizing) [3].

Proses penambahan karbon (carburizing) merupakan pengerasan permukaan pada baja karbon rendah yang bertujuan untuk menambah kandungan karbon agar bisa ditingkatkan kekerasannya. Karburasi padat (pack carburizing) merupakan salah satu metode yang sering dilakukan untuk keperluan tersebut. Salah satu media pack carburizing adalah menggunakan arang tempurung kelapa. Arang tempurung kelapa yang digunakan sebagai sumber karbon pada baja, diubah terlebih dahulu dalam bentuk butiran-butiran. Bentuk butiran ini yang akan membantu proses perubahan karbon padat menjadi gas melalui pemanasan. Proses pemanasan ini, dimana gas karbon yang dihasilkan akan berdifusi ke dalam struktur baja sehingga kadar karbon meningkat [4]. Dengan meningkatnya kadar karbon, maka kekerasan permukaan baja pun akan meningkat.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini melakukan proses penambahan karbon (pack carburizing) dengan variasi temperatur 850°C dan 950°C waktu penahanan selama 2 jam, kemudian dilakukan pendinginan langsung (direct quenching) menggunakan air dan larutan garam.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Apriatun dkk. [5] melakukan penelitian dengan judul “Analisa Pengaruh Variasi Waktu Penahanan Pada Proses Pack Carburizing Terhadap Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah ST 37” untuk menganalisis kekerasan baja karbon rendah ST 37 yang menjalani perlakuan pack carburizing dengan arang tempurung kelapa. Spesimen dibagi menjadi dua kelompok, lima diantaranya diberi perlakuan pack carburizing tanpa quenching, dan lima lainnya diberi perlakuan pack carburizing dan hardening dengan quenching menggunakan oli bekas. Media karbon yang digunakan adalah arang tempurung kelapa. Proses pack carburizing dilakukan pada suhu 950°C dengan holding time 2 jam, 4 jam, 6 jam, 8 jam, dan 10 jam. Pengujian kekerasan dilakukan pada material baja karbon rendah ST 37 yang telah menjalani perlakuan pack carburizing dan hardening. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan melakukan proses pack carburizing dan hardening, nilai kekerasannya meningkat, menghasilkan benda uji yang lebih keras.

### Baja Karbon

Baja karbon terdiri dari besi (Fe) dan karbon (C). Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat. Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya dapat menjadi salah satu pengklasifikasian jenis kualitas baja. Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Baja karbon rendah (low carbon steel). Baja karbon rendah mengandung karbon dalam campuran baja karbon kurang dari 0,3% C. Baja ini bukan baja yang keras karena kandungan karbonnya yang rendah kurang dari 0,3% C [1].
2. Baja karbon menengah (medium carbon steel). Baja karbon sedang mengandung karbon 0,3-0,6% C dan dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan sebagian dengan perlakuan panas (heat treatment) yang sesuai [1].
3. Baja karbon tinggi (high carbon steel). Baja karbon tinggi mengandung 0,6-1,5% C dan memiliki kekerasan tinggi namun keuletannya lebih rendah, hampir tidak dapat diketahui jarak tegangan lumernya terhadap tegangan proporsional pada grafik tegangan regangan [1]

### **Baja ST 37**

Baja ST 37 adalah baja karbon rendah karena memiliki komposisi karbon (C) dibawah 0,3%. Baja ini memiliki kekuatan tarik minimal 37 Kg/mm<sup>2</sup> dan maksimal 45 Kg/mm<sup>2</sup>. Baja ST 37 dapat digunakan langsung tanpa mengalami perlakuan panas, kecuali jika diperlukan pemakaian khusus [6].

**Tabel 1. Komposisi baja ST 37 [7]**

Unsur	Kandungan (%)	
C	Carbon	0,15
Si	Silicon	0,01
Mn	Mangan	0,60
P	Phosporus	0,028
S	Sulfur	0,050

Baja ST 37 dengan kandungan karbon sebesar 0,15% termasuk ke dalam kelompok baja karbon rendah (low carbon steel). Kelompok baja ini masih memungkinkan untuk ditambah kandungan karbonnya, agar meningkat kekerasannya. Mengingat penggunaannya yang cukup luas untuk banyak komponen konstruksi mesin, termasuk kemungkinan sebagai material dasar komponen yang membutuhkan sifat keras dipermukaannya [4].

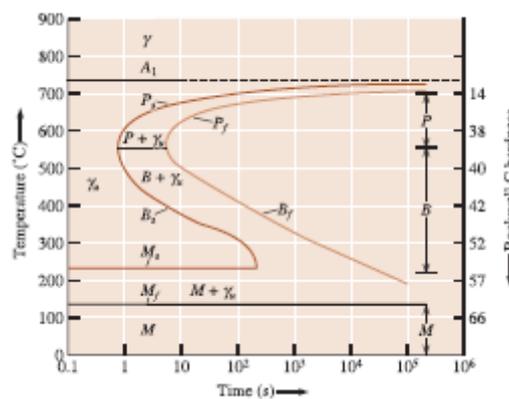
### **Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)**

Perlakuan panas adalah suatu metode yang digunakan untuk mengubah sifat logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pendinginan dengan atau tanpa merubah komposisi kimia logamnya. Salah satu tujuan perlakuan panas pada baja adalah untuk pengerasan (hardening), yaitu proses pemanasan baja sampai suhu didaerah atau diatas daerah kritis disusul dengan pendinginan yang cepat dinamakan quenching [8]. Perlakuan panas pada baja memegang peranan yang sangat penting dalam mencapai sifat tertentu yang diinginkan sesuai dengan kebutuhan. Dalam proses ini, baja dipanaskan sampai suhu tertentu, ditahan selama waktu tertentu, dan kemudian didinginkan dengan media tertentu. Perlakuan panas bertujuan untuk meningkatkan kekuatan tarik, kekerasan, keuletan, menghilangkan tegangan internal, dan menghaluskan ukuran butir. Ada beberapa factor yang memengaruhi perlakuan panas, diantaranya suhu pemanasan, waktu pada suhu pemanasan, laju pendinginan, dan lingkungan atmosfer [9]

### **Diagram Time-Temperature-Transformation (T-T-T)**

Diagram Time Temperature Transformation atau disebut dengan diagram TTT adalah suatu digram yang menghubungkan transformasi austenite terhadap temperatur dan waktu. Proses perlakuan panas bertujuan untuk memperoleh struktur baja yang diinginkan agar sesuai dengan yang direncanakan. Struktur yang diperoleh merupakan hasil dari proses

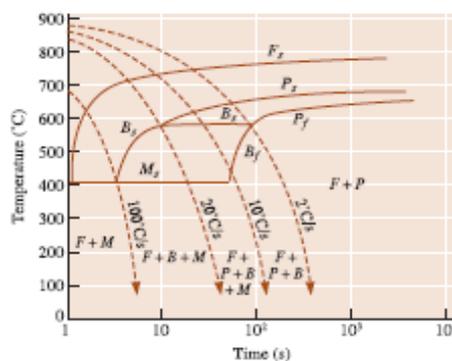
transformasi dari kondisi awal. Proses transformasi ini dapat dibaca dengan menggunakan diagram fasa, namun untuk kondisi tidak seimbang diagram fasa tidak dapat digunakan, dalam kondisi ini maka digunakan diagram TTT. Melalui diagram ini dapat digunakan untuk mempelajari perilaku baja pada setiap tahap perlakuan panas. Diagram ini juga dapat digunakan untuk memperkirakan struktur dan sifat mekanik baja yang dikeraskan dari temperatur austenisasi hingga temperatur  $A_1$ . Diagram ini menunjukkan dekomposisi austenit dan berlaku untuk jenis baja tertentu. Bentuk digaramnya tergantung pada komposisi kimia baja, terutama kandungan karbonnya. Ketika baja dengan kandungan karbon 0,8% diperkirakan pada suhu spesifik akan menghasilkan struktur ferit dan perlit. Bila suhunya ditahan tetap konstan tapi masih diatas garis horizontal, maka diperoleh struktur bainit (lebih keras dari perlit). Jika suhu ditahan pada titik tertentu di bawah garis horizontal, maka akan terbentuk struktur martensit (sangat keras dan rapuh).



**Gambar 2. Diagram Time-Temperature-Transformation (T-T-T) baja eutectoid [10]**

### Diagram Continuous Cooling Transformation (CCT)

Diagram Continuous Cooling Transformation atau disebut dengan CCT diagram, merupakan diagram yang menghubungkan antara laju pendinginan kontinyu dengan fasa atau struktur yang terbentuk setelah terjadinya transformasi fasa. Pada gambar dibawah ini menunjukkan diagram CCT untuk baja secara skematik. Dapat dilihat bahwa tiap-tiap kurva pendinginan kontinyu dengan laju pendinginan yang berbeda menghasilkan fasa atau struktur baja yang berbeda pula.

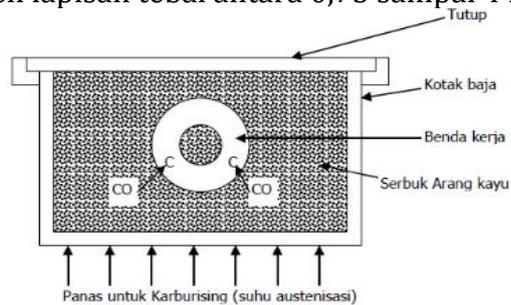


**Gambar 3. Diagram Countinuous-Cooling-Transformation (CCT) baja 0,2% C [10]**

### Karburasi (Carburizing)

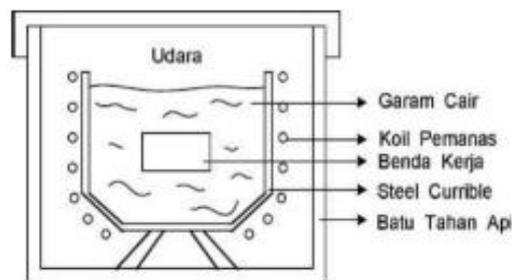
Karburasi (Carburizing) adalah proses perlakuan panas untuk meningkatkan kekerasan permukaan logam, umumnya digunakan pada jenis logam yang mudah dikeraskan. Komposisi karbon pada baja harus berkisar antara 0,3-0,9% karbon. Bila melebihi dari 0,9% karbon maka

akan menimbulkan pengelupasan atau bahkan keretakan [1]. Maka dari itu biasanya proses ini dilakukan menggunakan baja karbon rendah yang memiliki sifat keuletan yang tinggi. Berdasarkan media karburisasinya, proses karburasi secara umum dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu karburasi cair (liquid carburizing), karburasi gas (gas carburizing), dan karburasi padat (pack carburizing). Karburasi padat (pack carburizing) adalah cara pengarbonan yang paling lama, media yang digunakan dalam pengarbonan ini adalah butiran-butiran arang bakar atau kokas ditambah dengan katalis berupa Barium Karbonat ( $BaCO_3$ ), Kalsium Karbonat ( $CaCO_3$ ), Kalium Karbonat ( $K_2CO_3$ ), atau Natrium Karbonat ( $NaCO_3$ ). Proses pengarbonan ini adalah dengan cara besi yang ditimbun dengan arang, kemudian dipanaskan mencapai suhu austenisasi dan ditahan hingga beberapa lama. Besi yang telah dipanaskan kemudian didinginkan untuk memperoleh lapisan tebal antara 0,75 sampai 4 mm [8].



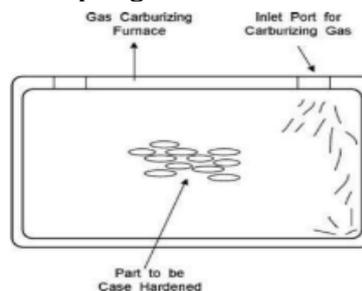
**Gambar 4. Ilustrasi proses karburasi padat [8]**

Karburasi cair (liquid carburizing) adalah pengarbonan yang menggunakan media cairan garam, biasanya Natrium Sianida ( $NaCN$ ). Proses pengarbonan cair ini dengan cara baja dicelupkan ke dalam campuran garam sianida, sehingga karbon dan nitrogen dapat berdifusi ke lapisan luar baja. Selama proses pengarbonan pada lapisan luar dapat ditingkatkan hingga 0,9 – 1,2% kadar karbon [8].



**Gambar 5. Ilustrasi Proses Karburasi Cair [8]**

Karburasi gas (gas carburizing) adalah pengarbonan yang menggunakan media gas. Gas yang dapat digunakan dalam pengarbonan ini adalah gas alam, hidrokarbon atau propan (gas karbit). Lapisan yang diperoleh dalam pengarbonan ini lebih tipis antara 0,10 – 0,75 mm [8].



**Gambar 6. Ilustrasi Proses Karburasi Gas [8]**

### **Karburasi Padat (Pack Carburizing)**

Dalam penelitian ini proses karburasi yang dilakukan menggunakan pack carburizing. Pack carburizing merupakan metode karburasi yang paling umum dibanding metode cair dan gas karena dapat dilakukan dengan menggunakan peralatan sederhana. Pada metode ini, komponen ditempatkan dalam kotak berisi media karburisasi yang saat pemanasan pada suhu austenisasi 842°C sampai 953°C. Pembentukan karbon monoksida ditingkatkan oleh energizer atau katalis seperti barium karbonat ( $BaCO_3$ ), kalsium karbonat ( $CaCO_3$ ), kalium karbonat ( $K_2CO_3$ ), dan natrium karbonat ( $Na_2CO_3$ ). Kandungan karbon setiap jenis arang berbeda-beda. Semakin tinggi kandungan karbon arang, maka penetrasi karbon terhadap permukaan baja akan semakin baik pula [11].

### **Pendinginan (Quenching)**

Quenching adalah pendinginan secara cepat, setelah mengalami perlakuan panas baja langsung didinginkan dengan cara dicelupkan kedalam media pendingin, umumnya berupa udara, air, oli, dan air larutan garam. Quenching ini bertujuan untuk mendapatkan kekerasan yang tinggi. Pada baja karbon rendah dan baja karbon sedang biasanya digunakan media air, sedangkan untuk baja karbon tinggi dan baja paduan biasanya digunakan media minyak. Air lebih cepat mendinginkan bila dibandingkan dengan minyak. Ada beberapa jenis quenching diantaranya, pendinginan tunggal (single quenching), pendinginan ganda (double quenching), dan pendinginan langsung (direct quenching) [8]. Dalam hal ini pendinginan langsung (direct quenching) merupakan proses pengerasan dengan pendinginan secara langsung dilakukan pada media karburisasi. Efek yang timbul dari pendinginan langsung biasanya akan ada pengelupasan pada benda kerja. Pada pendinginan langsung ini diperoleh permukaan benda kerja yang getas dan keras [8].

### **Pembahasan**

#### **Pengujian material sebelum proses pack carburizing**

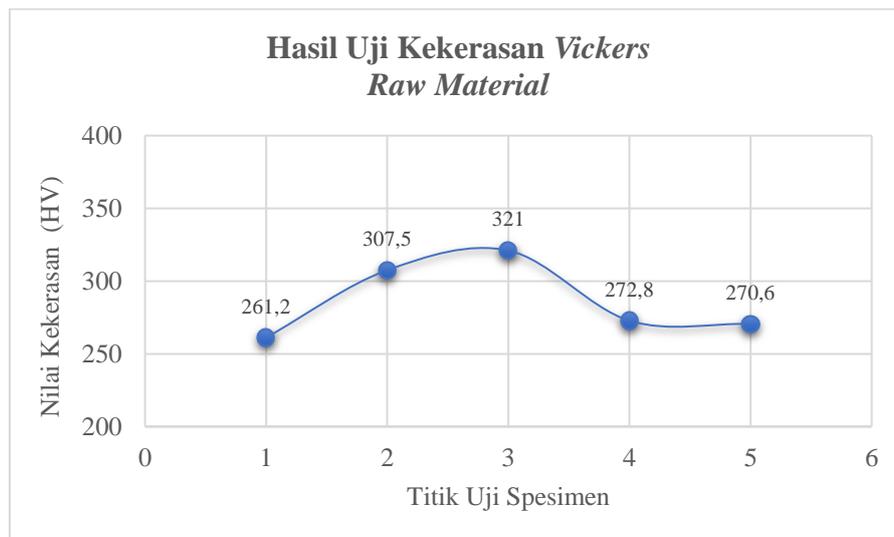
##### **Hasil uji kekerasan**

Proses pengujian kekerasan pada permukaan material ini menggunakan microhardness. Pengujian dilakukan dengan lima titik sampel pada spesimen. Cara ini menggunakan metoda micro Vickers dengan beban indentor sebesar 0,4 kg. Hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 2 berikut ini.

**Tabel 2. Hasil Uji Nilai Kekerasan Sebelum Pack Carburizing**

Spesimen	Nilai Kekerasan Tiap Titik (HV)					Kekerasan Rata-rata (HV)
	1	2	3	4	5	
Baja ST 37	261,2	307,5	321,0	272,8	270,6	286,62

Dari hasil di atas, menunjukkan bahwa nilai material dasar (raw material) memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 286,62 Hardness Vickers.



**Gambar 7. Diagram Hasil Uji Kekerasan Vickers Raw Material**

**Pengujian material setelah proses pack carburizing**  
**Hasil uji kekerasan setelah proses pack carburizing**

Pengujian ini dilakukan terhadap spesimen yang telah melakukan proses heat treatment (carburizing), spesimen tersebut bervariasi agar dapat menunjukkan hasil yang optimal dari proses carburizing.

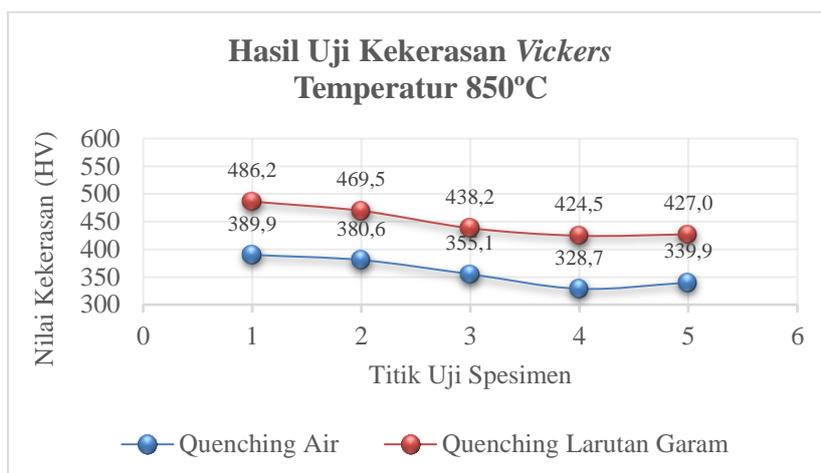
**Tabel 3. Hasil Uji Kekerasan Pada Temperatur 850°C Dengan Quenching Air**

Temperatur	Pendingin ( <i>Quenching</i> )	Titik	Nilai Kekerasan (HV)
850°C	Air	1	389,9
		2	380,6
		3	355,1
		4	328,7
		5	339,9
Kekerasan Rata-rata (HV)			358,84

**Tabel 4. Hasil Uji Kekerasan Pada Temperatur 850°C Quenching Larutan Garam**

Temperatur	Pendinginan ( <i>Quenching</i> )	Titik	Nilai Kekerasan (HV)
850°C	Larutan Garam	1	486,2
		2	469,5
		3	438,2
		4	424,5
		5	427,0
Kekerasan Rata-rata (HV)			449,08

Dari hasil data tabel tersebut menunjukkan hasil pengujian kekerasan micro Vickers yang menjelaskan bahwa terjadi peningkatan kekerasan pada temperatur 850°C, yaitu dengan nilai kekerasan rata-rata 358,84 HV pada quenching air, dan 449,08 HV pada quenching larutan garam.



**Gambar 8. Diagram Hasil Uji Kekerasan Vickers Temperatur 850°C**

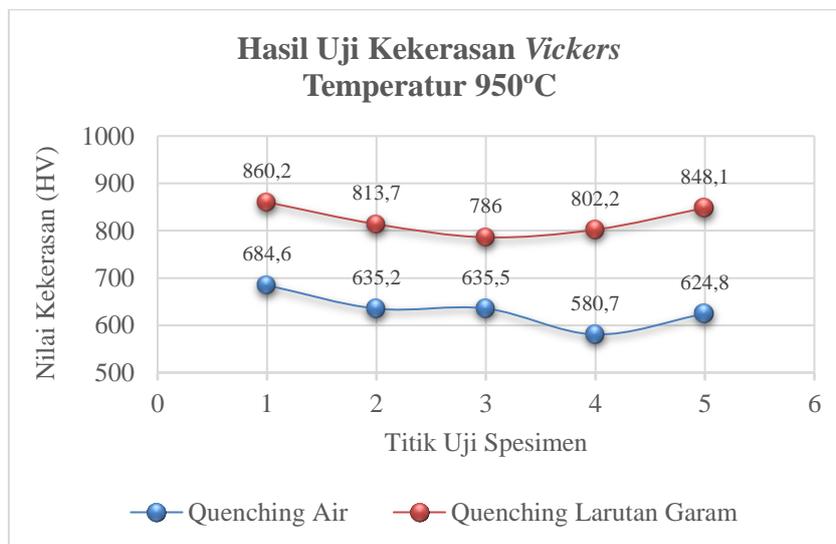
Dapat dilihat bahwa nilai kekerasan tertinggi terjadi pada media quenching larutan garam.

**Tabel 5. Hasil Uji Kekerasan Pada Temperatur 950°C Dengan Quenching Air**

Temperatur	Pendinginan ( <i>Quenching</i> )	Titik	Nilai Kekerasan (HV)
950°C	Air	1	684,6
		2	635,2
		3	635,5
		4	580,7
		5	624,8
Kekerasan Rata-rata (HV)			632,16

**Tabel 6. Hasil Uji Kekerasan Pada Temperatur 950°C Quenching Larutan Garam**

Temperatur	Pendinginan ( <i>Quenching</i> )	Titik	Nilai Kekerasan (HV)
950°C	Larutan Garam	1	860,2
		2	813,7
		3	786,0
		4	802,2
		5	848,1
Kekerasan Rata-rata (HV)			822,04



**Gambar 9. Diagram Hasil Uji Kekerasan Vickers Temperatur 950°C**

Pada temperatur 950°C, baja kembali mengalami peningkatan kekerasan yang signifikan, dimana dari hasil pengujian tersebut memperoleh nilai kekerasan rata-rata 632,16 HV dengan *quenching* air, dan 822,04 HV pada *quenching* larutan garam.

## **KESIMPULAN**

1. Hasil uji kekerasan pada spesimen sebelum dan sesudah pack carburizing dengan rincian sebagai berikut:
  - a. Pada raw material setelah dilakukan uji kekerasan memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 286,62 HV.
  - b. Nilai kekerasan mengalami peningkatan pada temperatur 850°C media *quenching* air dengan nilai rata-rata sebesar 358,84 HV
  - c. Pada temperatur yang sama, yaitu 850°C dengan *quenching* larutan garam spesimen larutan garam menghasilkan nilai rata-rata sebesar 449,08 HV.
  - d. Kemudian pada temperatur 950°C nilai kekerasan pada baja juga mengalami peningkatan dengan *quenching* air, yaitu rata-rata nilai kekerasannya sebesar 632,16 HV
  - e. Pada temperatur yang sama 950°C dengan *quenching* larutan garam menghasilkan nilai tertinggi dengan rata-rata nilai sebesar 822,04 HV.
2. Nilai kekerasan pada tiap spesimen naik dibandingkan dengan raw material, tetapi dari data grafik menunjukkan bahwa nilai kekerasan pada permukaan baja tidak akurat, hal ini memungkinkan adanya difusi karbon yang tidak optimal, atau pada proses pengujian kekerasan area pengujian yang tidak sesuai.

Dari beberapa hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur pada proses pack carburizing, semakin tinggi pula nilai kekerasan yang dialami pada baja. Hal tersebut menjelaskan terjadinya difusi karbon arang tempurung kelapa ke dalam struktur baja. Dan pengaruh dari media pendinginan (*quenching*) juga yang memengaruhi perubahan sifat dari baja menjadi lebih keras.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- A. Prayogi and Suhardiman, "Analisa pengaruh variasi media pendingin pada perlakuan panas terhadap kekerasan dan struktur mikro baja karbon rendah," J. Polimesin, vol. 17, no. 2, pp. 29–36, 2019.
- Apriatun, Taufikurahman, and E. Sundari, "Analisa Pengaruh Variasi Waktu Penahanan Pada Proses Pack Carburizing Terhadap Kekerasan Baja Karbon Rendah ST 37," Mach. J. Teknol. Terap., vol. 2, no. 1, p. 2021, 2021, doi: 10.5281/zenodo.474853.
- B. Fajar Setiawan, Helianto, and H. Rahmadi, "Penggunaan Karbon Arang Kayu Belian Dan Arang Kayu Akasia Pada Proses Karburasi Padat Baja Karbon Rendah," Indones. J. Mech. Eng. Vocat., vol. 1, pp. 10–21, [Online]. Available: <https://politap.ac.id/journal/index.php/injection>
- B. Kuswanto, "Pengaruh Perbedaan Ukuran Butir Arang Tempurung Kelapa-Barium Karbonat Terhadap Peningkatan Kekerasan Permukaan Material Baja St 37 Dengan Proses Pack," Universitas Diponegoro Semarang, 2010.
- D. Ngakan Ketut putra Negara and I. Dewa Made Kirshna Muku, "Pack Carburizing Baja Karbon Rendah," J. Energi dan Manufaktur, vol. 7, pp. 167–172, 2015.
- D. R. Askeland and P. P. Fulay, *Essentials of Material Science and Engineering*, Second Edi. Canada, 2009.

- K. Waas and V. Danny Waas, "Pengaruh Holding Time Dan Variasi Media Quenching Terhadap Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah St 42 Pada Proses Pengkarbonan Padat Menggunakan Arang Batok Biji Pala (*Myristica Fagrans*)," *J. Simetrik*, vol. 10, pp. 269–278, 2020.
- R. Firdaus, G. Setiadi, and R. Sadiana, "Pengaruh Temperatur Karburasi Padat Terhadap Kekerasan Baja St37 Dengan Media Arang Batok Kelapa," *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 23–31, 2019, [Online]. Available: <http://ejournal.unismabekasi.ac.id>
- R. R. Aminuddin, A. wibawa B. Santoso, and H. Yudo, "Jurnal Teknik Perkapalan 37 sebagai Bahan Poros Baling-baling Kapal (Propeller Shaft) setelah Proses Tempering," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 8, no. 3, pp. 368–374, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- S. Kirono and A. Amri, "Pengaruh Tempering Pada Baja St 37 Yang Mengalami Karburasi Dengan Bahan Padat Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro," pp. 1–10.
- T. R. P. Perdana, "Pengaruh Variasi Waktu Pack Carburizing Arang Tempurung Kelapa Pada Baja ST37 Dengan Katalis Cangkang Kerang Hijau," Universitas Lampung, 2021.