

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*)

Kristofol Waas¹⁾, Victor Danny Waas²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ambon, ²⁾Jurusan Teknik Mesin Universitas Pattimura Ambon
¹⁾kristwaas@gmail.com, ²⁾victorwaas90@gmail.com

ABSTRACT

The purpose of this study was to obtain the hardness value of each variation of holding time and the variation of quenching medium (cooling) used. So we can compare the change in hardness value obtained and then can determine the retaining time as well as a good quenching medium to increase the hardness value of low carbon steel. The method used in this study is an experimental method. With a low carbon steel sample of ST 42 plate shaped as much as 26 pieces was done hardness testing before and after solid carburization process. Hardness testing is done by Rockwell B (HRB) method. The process of pack carburizing, carried out at 950 °C temperature with holding time is 1 hour, 2 hours, 3 hours and 4 hours. The results of this study indicate that the cooling medium which has a fast cooling rate of water media. While the seawater cooling medium can increase the hardness value of low carbon steel.

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh nilai kekerasan dari setiap variasi waktu penahanan (*holding time*) dan variasi media *quenching* (pendinginan) yang digunakan. Sehingga kita dapat membandingkan perubahan nilai kekerasan yang diperoleh dan kemudian dapat menentukan waktu penahan serta media *quenching* yang baik untuk meningkatkan nilai kekerasan baja karbon rendah. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental. Dengan sampel baja karbon rendah ST 42 berbentuk pelat sebanyak 26 buah dilakukan pengujian kekerasan sebelum dan sesudah proses karburasi padat. Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Rockwell B (HRB). Proses pengkarbonan padat (*pack carburizing*), dilakukan pada temperatur 950 °C dengan waktu penahanan 1 jam, 2 jam, 3 jam, dan 4 jam. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa media pendinginan yang memiliki laju pendinginan yang cepat yaitu media air. Sedangkan media pendinginan air laut dapat menaikkan nilai kekerasan dari baja karbon rendah.

Kata kunci: Baja Karbon Rendah, Pengkarbonan Padat; Waktu Tahan; Media Quenching; Nilai Kekerasan

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini kalau diperhatikan, segala kebutuhan manusia tidak terlepas dari unsur logam, karena hampir semua alat yang digunakan manusia terbuat dari unsur logam. Jelaslah bahwa logam mempunyai peranan aktif dalam kehidupan manusia dan menunjang teknologi di zaman sekarang. Terkait dengan begitu pentingnya peran logam dalam teknologi industri sehingga berbagai usaha dilakukan untuk memperbaiki sifat-sifat dari logam terutama mengubah sifat mekanis dan fisiknya. Sifat mekanik dari logam antara lain: kekerasan, kekuatan, keuletan, kelelahan, dan lain-lain. Sedangkan sifat fisik yaitu dimensi, konduktivitas listrik, struktur mikro, densitas, dan lain-lain.

Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon kurang dari 0,3 %. Baja ini sering dipakai juga untuk konstruksi-konstruksi mesin yang saling bergesekan seperti roda gigi, poros, dll karena sangat ulet. Namun kekerasan permukaan dari baja tersebut tergolong rendah sehingga sebelum digunakan untuk konstruksi-konstruksi yang disebutkan di atas, maka perlu dimodifikasi atau memperbaiki sifat kekerasan pada permukaannya. Baja karbon rendah ini tidak dapat

dikeraskan secara konvensional tetapi melalui penambahan karbon dengan proses *carburizing*.

Proses *carburizing* didefinisikan sebagai suatu proses penambahan kandungan karbon pada permukaan baja untuk mendapatkan sifat baja yang lebih keras pada permukaannya. Kondisi ini sangat diperlukan untuk komponen-komponen yang mensyaratkan tahan aus. Suhu untuk proses *carburizing* sekitar 850-950 °C dalam media *carburizing* ini akan menghasilkan lapisan permukaan yang keras dan tahan aus dengan inti tetap liat/ulet. Media *carburizing* dapat berupa fase padat, fase cair atau fase gas (Aramide, et al., 2010).

Penelitian ini menggunakan media pengkarbonan padat atau *pack carburizing* yaitu suatu proses *carburizing* dengan memasukan sumber karbon dari bahan padat dan aktifator dalam kotak yang ditutup rapat. Dalam penelitian ini memanfaatkan limbah batok biji pala yang diarangkan sebagai sumber karbon dan Kalsium Karbonat (CaCO₃) sebagai katalisator.

Tujuan utama dari proses pengkarbonan adalah agar diperoleh struktur permukaan bahan yang keras. Hal ini dapat dicapai jika menggunakan media

quenching yang efektif sehingga baja yang didinginkan pada suatu laju yang dapat mencegah terbentuknya struktur bahan yang lebih lunak. Terdapat beberapa cara dalam proses *quenching* ini diantaranya pendinginan langsung (*direct quenching*), pendinginan tunggal (*single quenching*), dan *double quenching*. Penelitian ini difokuskan pada pendinginan langsung terutama mengkaji variasi media *quenching* yang digunakan setelah proses *carburizing* dan variasi waktu tahannya. Diharapkan akan diperoleh, ada pengaruh perubahan sifat mekanik terutama nilai kekerasan pada material uji melalui proses *carburizing* menggunakan arang batok biji pala dan katalisator Kalsium Karbonat (CaCO_3).

Pada penelitian-penelitian sebelumnya telah diketahui perubahan nilai kekerasan dengan menggunakan arang tempurung kelapa dan arang kayu nani sebagai media padat. Selain itu alternatif lain yang dapat kita gunakan adalah arang batok biji pala. Pala adalah tumbuhan yang banyak terdapat di Maluku. Biji buah pala memiliki kesamaan fisik dengan tempurung kelapa karena dilindungi oleh batok yang keras. Sama seperti tempurung kelapa, batok biji pala pun biasanya dibakar atau dibuang begitu saja. Tetapi kita bisa memanfaatkannya sebagai media padat pada proses pengkarbonan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Baja Karbon

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 presentase karbon dan struktur mikro. Perbedaan presentase 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.

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.

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.

Sifat mekanis baja juga dipengaruhi oleh cara mengadakan ikatan karbon dengan besi. Menurut Darmawi (2009), terdapat 3 bentuk utama struktur mikro saat karbon mengadakan ikatan dengan besi, yaitu:

1. Ferit, yaitu besi murni (Fe) terletak rapat saling berdekatan tidak teratur, baik bentuk maupun besarnya. Ferit merupakan bagian baja yang paling lunak, ferrit murni tidak akan cocok digunakan sebagai bahan untuk benda kerja yang menahan beban karena kekuatannya kecil.
2. Karbid besi (Fe_3C), suatu senyawa kimia antara besi dengan karbon sebagai struktur tersendiri yang dinamakan sementit. Peningkatan kandungan karbon akan menambah kadar sementit. Sementit dalam baja merupakan unsur yang paling keras.
3. Perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$), merupakan campuran antara ferrit dan sementit dengan kandungan karbon sebesar 0,8 %. Struktur perlitis mempunyai fase ferrit tersendiri dari serpihan sementit halus yang saling berdampingan dalam lapisan tipis mirip lamel.

2.2. Baja ST 42

DIN 17-100 mengatur jenis baja karbon untuk keperluan pembuatan komponen mesin yang distandarkan menurut kekuatan tarik. Jenis baja ST 42, dimana baja-baja ini mempunyai kekuatan tarik minimal 37 – 45 Kg/mm^2 dan maksimal 42 – 50 Kg/mm^2 . Sedangkan kandungan karbon yang dimilikinya sebesar 0,16 % berat. Data ini diambilkan dari tabel baja-baja konstruksi menurut ONORM M3111 sebagai berikut (Tabel 1.).

Tabel 1. Baja Konstruksi menurut ONORM M 3111

Sebutan ONORM	DIN 17 - 100	σ_H Kg/mm^2	σ_s Kg/mm^2	C %	δ_s %	Ø Pena
St 00 M	-	Sampai 50	-	0,12	30...26	4a
St 34 M	St 34-2	34-42	19	0,12	30...26	0,5a
St 37 M	St 37-2	37-45	21	0,16	26...23	A
St 42 M	St 42-2	42-50	23	0,25	25...22	A
St 50 M	St 50-2	50-60	27	0,36	22...19	-
St 60 M	St 60-2	60-70	32	0,45	17...13	-
St 70 M	St 70-2	70-85	36	0,58	12...8	-

Sumber: Schonmetz, 1985

Material yang digunakan adalah Baja ST 42 dengan persentase komposisi kimianya 0,07 - 0,10 % C, 0,035 % S, 0,30 - 0,60 % Mn, 0,15 - 0,25 % Si dan 0,15 - 0,03 % P (Trihutomo, P., 2014).

2.3. Pala

Pala (*Myristica fragans*) merupakan jenis tanaman yang tumbuh di daerah tropis dan dengan

ketinggian 500-700 m dpl. Menurut pendapat para ahli, pala adalah tanaman asli Indonesia yang berasal dari MALAISE ARCHIPEL yaitu gugusan kepulauan Banda dan Maluku. Kemudian menyebar dan berkembang ke pulau-pulau lain yang berada di sekitarnya, bahkan sekarang telah mencapai Aceh, Sulawesi Utara dan Irian Jaya.

Tanaman pala memiliki buah berbentuk bulat, berwarna hijau kekuning-kuningan buah ini apabila masak terbelah dua. Garis tengah buah berkisar antara 3 -9 cm, daging buahnya tebal dan asam rasanya. Biji berbentuk lonjong sampai bulat, panjangnya berkisar antara 1,5 - 4,5 cm dengan lebar 1- 2,5 cm.

Kulit biji/batok biji berwarna coklat dan mengkilat pada bagian luarnya. Batok biji pala merupakan media yang baik untuk proses *carburizing*, karena jika dibakar akan menjadi arang. Arang adalah residu yang sebagian besar komponennya adalah karbon dan terjadi karena penguraian kayu akibat perlakuan pemanasan. Secara umum arang batok biji pala memiliki Kadar air rata-rata 9,90 %, Nilai kalor rata-rata 6348,82 kal/gr, Kadar zat menguap rata-rata 15,24 %, Kadar abu rata-rata 12,26 %, Kadar karbon terikat rata-rata 62,59 %). (Ahmad Taonisi, dkk. 2010).

2.4. Perlakuan Panas

Perlakuan panas atau *Heat-treatment* dapat didefinisikan suatu kombinasi proses pemanasan dan pendinginan logam/paduannya dalam keadaan padat secara terkontrol. Tujuannya adalah mempersiapkan material logam sebagai produk setengah jadi agar layak diproses lanjut untuk meningkatkan umur pakai material logam sebagai produk jadi.

2.5. Pengerasan Permukaan

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.

2.6. Karburasi (Carburizing)

Karburasi atau *Carburizing* adalah proses perlakuan thermokimia, 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*).

2.7. Quenching

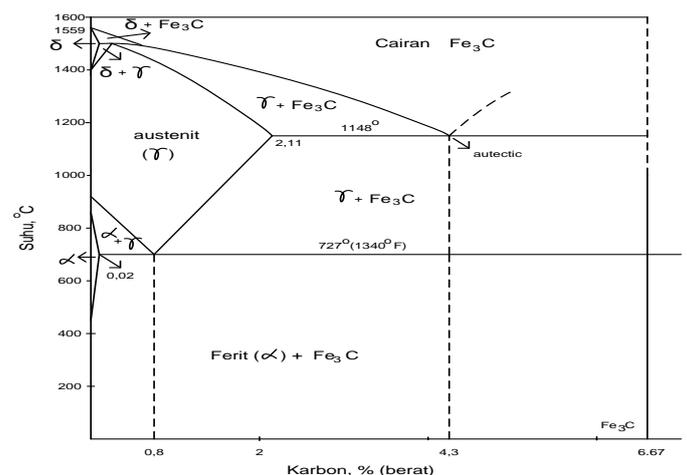
Pendinginan cepat adalah salah satu perlakuan panas dengan laju pendinginan cepat yang dilakukan didalam suatu media pendingin air garam, air atau oli. Proses quenching bertujuan untuk mendapatkan sifat mekanik yang keras.

Quenching merupakan proses perpindahan panas pendinginan dengan sangat cepat dari fasa austenit pada umumnya suhu antara 815-870°C untuk material baja. Media pendingin yang biasa digunakan untuk proses quenching yaitu air, oli, larutan garam, dan udara. Media pendingin yang digunakan untuk proses quenching tergantung dari komposisi kimia baja yang diproses, kekerasan yang ingin dicapai, dan kompleksitas bentuk benda kerja. Jenis baja, ketebalan penampang, dan sifat yang ingin diperoleh dari benda kerja yang diproses menentukan metode atau cara quenching (Bahtiar, 2014).

2.8. Transformasi Fase Pada Saat Pemanasan

Transformasi fase yang terjadi pada saat pemanasan dapat dipelajari dari diagram keseimbangan (diagram fase) besi karbida–baja. Baja karbon rendah pada diagram fase terletak dibawah ini, termasuk dalam baja hypoutektoid.

Pada temperatur kamar baja karbon rendah terdiri dari butir-butir kristal ferit dan perlit dengan jumlah butir ferit lebih banyak dari butir perlit. Perbandingan jumlah buntir ferit dan perlit tersebut sesuai dengan jumlah kadar karbon yang terkandung dalam baja karbon rendah tersebut.



Sumber: Beumer, 1994

Gambar 1. Diagram fasa Fe – Fe₃C

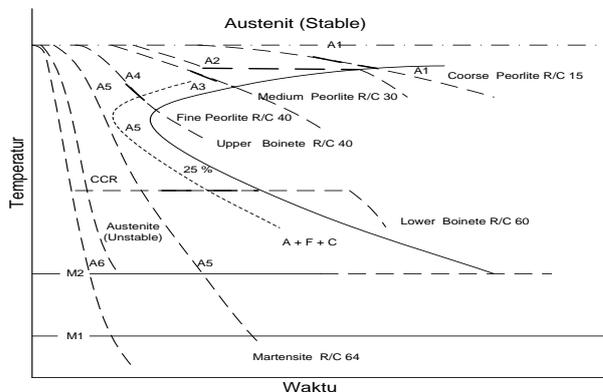
2.8. Transformasi Fase Pada Saat Pendinginan

Dalam suatu proses perlakuan panas, setelah pemanasan mencapai temperature yang ditentukan dan diberi waktu penahanan panas (*Holding time*) secukupnya maka dilakukan pendinginan dengan laju tertentu. Struktur mikro yang terjadi setelah pendinginan akan tergantung pada laju pendinginan. Karena sifat mekanik dari baja setelah akhir suatu proses perlakuan panas akan ditentukan oleh laju pendinginan.

Transformasi austenit pada pendinginan memegang peranan penting terhadap sifat dari baja karbon. Austenit dari baja hypoutektoid bila didinginkan secara lambat pada temperatur A_3 mulai membentuk inti kristal austenit. Transformasi ini terjadi karena perubahan allotropik dari besi gamma (austenit) ke alpha (ferrit). Karena ferit hanya dapat melarutkan karbon dalam jumlah yang sangat kecil maka kandungan karbon dalam austenit akan semakin besar bila ferit yang tumbuh banyak (dengan makin turunnya temperatur). Besarnya kandungan karbon dalam temperatur kritis A_3 , sehingga pada saat temperatur mencapai temperatur kritis A_1 , komposisi austenit sama dengan komposisi eutektoid dan pada waktu itu austenit berdeformasi menjadi perlit.

Tumbuhnya perlit diawali dengan tumbuhnya inti sementit pada batas butir austenit. Untuk tumbuhnya sementit diperlukan sejumlah besar karbon yang akan diperoleh dari austenit sekitarnya. Sehingga austenit disekitar sementit miskin karbon dan menjadi ferit. Perpindahan atom ini berlangsung secara difusi, oleh karena itu memerlukan waktu yang cukup.

Pada proses *case hardening* bila austenit didinginkan secara cepat, maka transformasi sementit (karbida besi) tidak terjadi dan produk transformasi austenit akan berubah menjadi fasa baru yang dikenal sebagai bainit dan martensit. Bainit terbentuk bila austenit didinginkan dengan cepat hingga mencapai temperatur tertentu. Transformasi bainit ini disebabkan sebagian karena proses difusi dan sebagaian lagi karena proses tanpa difusi.



Sumber: Beumer, 1994

Gambar 2. Kurva Pendinginan

2.9. Waktu Penahanan (*Holding Time*)

Holding time dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses quenching dengan menahan pada temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan homogen. Pada proses *pack carburizing*, *holding time* sangat diperlukan untuk menghasilkan kelarutan karbon pada material baja, semakin lama *holding time*-nya maka akan semakin banyak karbon yang berdifusi dengan besi (Purboputro, I.P., 2006).

Pada saat tercapainya suhu kritis atas, memang fase struktur sudah hampir semuanya austenit tetapi austenit masih berbutir halus dan kadar karbon dan unsur paduannya belum homogen untuk itulah dibutuhkan penahan waktu beberapa saat (Karmin, 2009).

2.10. Pengujian Kekerasan

Proses pengujian kekerasan logam dapat diartikan sebagai kemampuan suatu bahan terhadap pembebanan dalam perubahan yang tetap, ketika gaya tertentu diberikan pada suatu benda uji. Harga kekerasan bahan tersebut dapat dianalisis dari besarnya beban yang diberikan terhadap luasan bidang yang menerima pembebanan.

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.

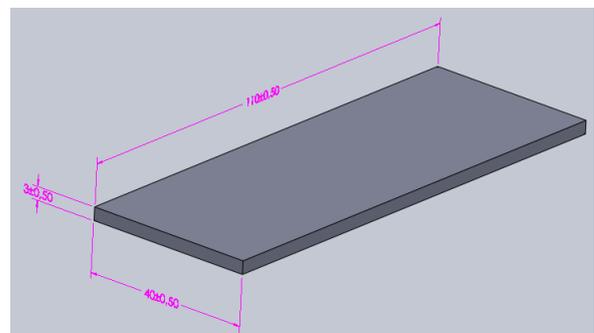
3. METODOLOGI

3.1. Variabel Penelitian

- a. Variabel Bebas : Waktu tahan dan media *quenching* (pendinginan)
- b. Variabel Terikat : Kekerasan baja karbon rendah

3.2. Sampel Penelitian

Penelitian menggunakan baja karbon rendah ST 42 berbentuk plat sebagai bahan penelitian. Bahan di bentuk menjadi spesimen perlakuan panas dan kekerasan sebanyak 26 buah dengan ukuran (110 x 40) mm.



Sumber: penulis, 2013

Gambar 3. Material Benda Uji

3.3. Bentuk Penelitian

Dari permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini, tipe penelitian adalah eksperimental yaitu melakukan pengujian kekerasan untuk mendapatkan data dan mengelolanya secara sistematis dan akurat dengan mengacu pada teori-teori yang terdapat dalam literatur sehingga dapat diketahui perbandingan nilai kekerasan baja karbon rendah pada proses karburasi dengan menggunakan media pengkarbonan padat (arang batok biji pala) dan katalisator (CaCO₃) dengan perbandingan 90 % karbon dan 10% katalisator. Waktu penahanan setelah *carburizing* adalah 1 – 4 jam serta variasi media quenching berupa air, air laut, dan oli.

3.4. Metode Pengukuran

Pengukuran nilai Kekerasan Rockwell menggunakan Rockwell Skala B. Nilai kekerasan Rockwell dapat diukur dengan menggunakan rumus :

$$HRB = 130 - \frac{t}{0,002} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

HRB = Nilai Kekerasan Rockwell, Skala B

t = Dalamnya Penekanan

Tetapi karena pengujian dengan menggunakan mesin sehingga nilai kekerasan dapat langsung dilihat.

3.5. Alat dan Bahan Penelitian

- a. Bahan yang digunakan adalah :
 - Baja karbon rendah, ST 42
 - Air, air laut, dan oli, masing-masing 3 liter
 - Serbuk karbon arang batok biji pala dan Serbuk katalisator Kalsium Karbonat (CaCO₃)
- b. Alat yang digunakan adalah :
 - Oven pemanas (Barnsteal Thermoline Type F-6000)
 - Kotak baja (kotak sementasi)
 - Mesin uji kekerasan Mitutoyo type AR-20
 - Thermometer
 - Dan alat bantu lainnya.

3.6. Prosedur Penelitian

- Prosedur Pengujian Spesimen sebelum proses karburasi.
- Prosedur untuk proses *carburizing*
- Pengujian kekerasan setelah proses karburasi dan pendinginan.

3.7. Metode Pengumpulan Data

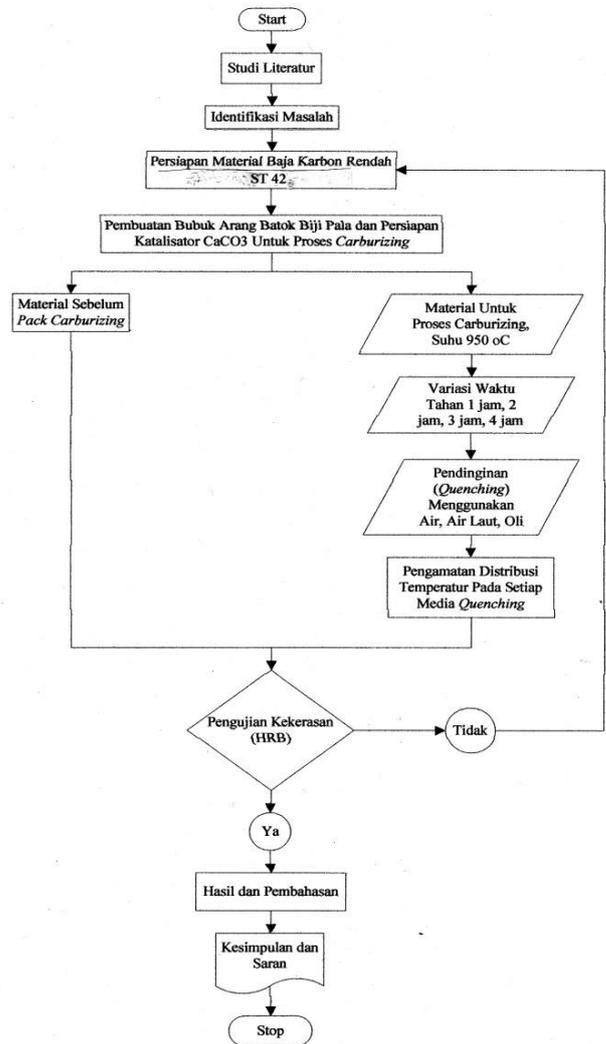
Penelitian menghasilkan data-data yang dalam pencatatannya dimasukkan dalam lembar penelitian. Lembar penelitian ini dikelompokkan berdasarkan jenis pengujian spesimen.

3.8. Metode Analisa Data

Setelah data yang diperoleh selanjutnya adalah menganalisa data dengan cara mengolah data yang

sudah terkumpul untuk mendapatkan nilai kekerasan yang ditampilkan dalam bentuk grafik-grafik.

3.9. Diagram Alir



Sumber: penulis, 2013

Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara rata-rata, hasil pengujian kekerasan yang didapat dari pengujian terlihat pada tabel 4. Hasil pengujian nilai kekerasan ini memakai metode Rockwell dengan beban 100 kg (HRB), melalui proses pengkarbonan padat komposisi arang botok biji pala – katalisator CaCO₃ (90 % - 10 %).

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan Baja ST 42

Media Quenching	Waktu Tahan (Jam)	Rata-rata HRB
Air	1	113,5
	2	117,45
	3	120,75

	4	122,325
Air Laut	1	115,7
	2	119,1
	3	121,625
	4	123,225
Oli	1	107,875
	2	115,5
	3	118,025
	4	120,025

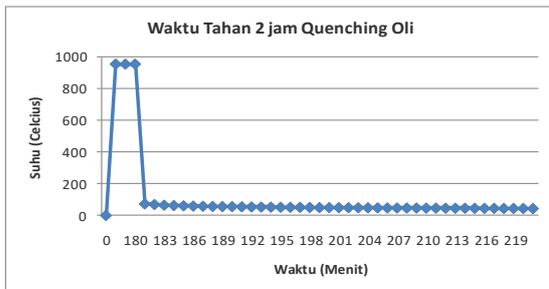
Sumber: penulis, 2013

• **Quenching Oli :**

Gambar 4. Grafik *quenching* dengan oli, waktu tahan 1 jam
Kecepatan pendinginan dengan oli, pada penahanan waktu 1 jam :

- T₂ : 950 °C
- T₃ : 71,55 °C
- t₂ : 120 menit
- t₃ : 121 menit

$$V_{oli} = \frac{T_3 - T_2}{t_3 - t_2} = \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{71,55 - 950}{121 - 120} = -878,45 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min.}$$



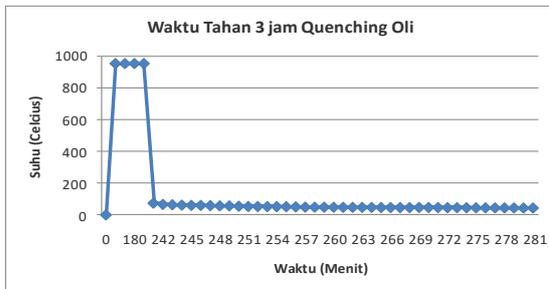
Sumber: penulis, 2013

Gambar 5. Grafik *quenching* dengan oli, waktu tahan 2 jam

Kecepatan pendinginan dengan oli, pada penahanan waktu 2 jam :

- T₂ : 950 °C
- T₃ : 72,3 °C
- t₂ : 180 menit
- t₃ : 181 menit

$$V_{oli} = \frac{T_3 - T_2}{t_3 - t_2} = \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{72,3 - 950}{181 - 180} = -877,7 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min.}$$



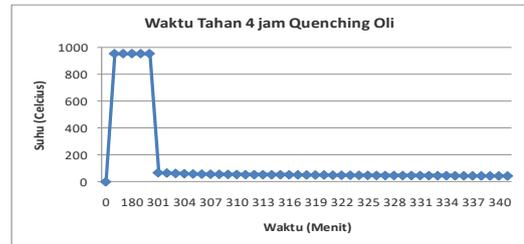
Sumber: penulis, 2013

Gambar 6. Grafik *quenching* dengan oli, waktu tahan 3 jam

Kecepatan pendinginan dengan oli, pada penahanan waktu 3 jam :

- T₂ : 950 °C
- T₃ : 73,6 °C
- t₂ : 240 menit
- t₃ : 241 menit

$$V_{oli} = \frac{T_3 - T_2}{t_3 - t_2} = \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{73,6 - 950}{241 - 240} = -876,4 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min.}$$



Sumber: penulis, 2013

Gambar 7. Grafik *quenching* dengan oli, waktu tahan 4 jam

Kecepatan pendinginan dengan oli, pada penahanan waktu 4 jam :

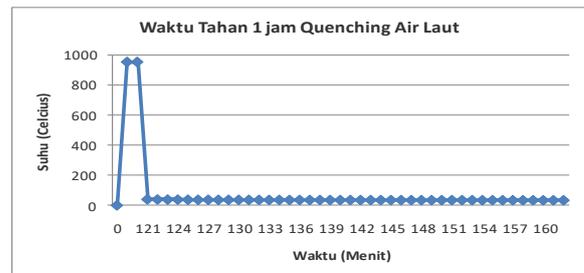
- T₂ : 950 °C
- T₃ : 67,5 °C
- t₂ : 300 menit
- t₃ : 301 menit

$$V_{oli} = \frac{T_3 - T_2}{t_3 - t_2} = \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{67,5 - 950}{301 - 300} = -882,5 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min.}$$

Suhu carburizing 950° C, waktu tahan 1 jam setelah di-*quenching* dengan oli dan dibiarkan selama 1 menit, suhu turun menjadi 71,55° C, suhu terus turun sampai 42,4° C. Waktu tahan 2 jam, suhu turun menjadi 72,3° C, suhu terus turun sampai 43,3° C. Waktu tahan 3 jam, suhu turun menjadi 73,6° C, suhu terus turun sampai 43,4° C. Waktu tahan 4 jam, suhu turun menjadi 67,5° C, suhu terus turun sampai 43,3° C.

Kecepatan pendinginan pada temperatur akhir penahanan dan temperatur setelah material di-*quench* dengan oli. Waktu tahan 1 jam adalah 878,45 °C/min, waktu tahan 2 jam adalah 877,7 °C/min, waktu tahan 3 jam adalah 876,4 °C/min, dan waktu tahan 4 jam adalah 882,5 °C/min.

• **Quenching Air Laut :**



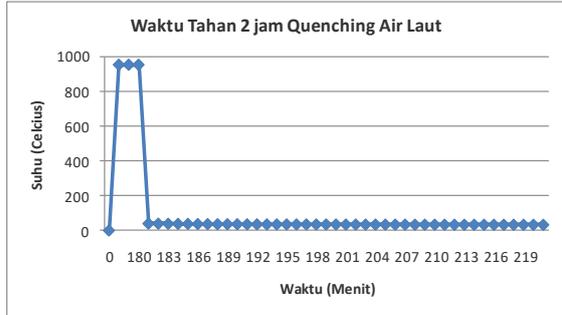
Sumber: penulis, 2013

Gambar 8. Grafik *quenching* dengan air laut, waktu tahan 1 jam

Kecepatan pendinginan dengan air laut, pada penahanan waktu 1 jam :

- T_2 : 950 °C
- T_3 : 39,8 °C
- t_2 : 120 menit
- t_3 : 121 menit

$$V_{AirLaut} = \frac{T_3 - T_2}{t_3 - t_2} = \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{39,8 - 950}{121 - 120} = -910,2 \text{ } ^\circ\text{C/min.}$$



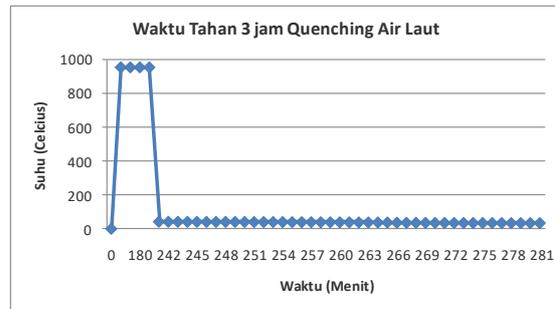
Sumber: penulis, 2013

Gambar 9. Grafik quenching dengan air laut, waktu tahan 2 jam

Kecepatan pendinginan dengan air laut, pada penahanan waktu 2 jam :

- T_2 : 950 °C
- T_3 : 39,4 °C
- t_2 : 180 menit
- t_3 : 181 menit

$$V_{AirLaut} = \frac{T_3 - T_2}{t_3 - t_2} = \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{39,4 - 950}{181 - 180} = -910,6 \text{ } ^\circ\text{C/min.}$$



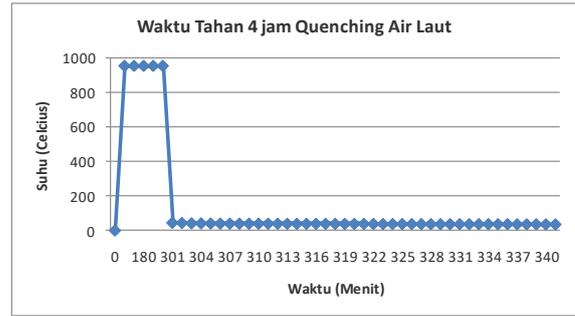
Sumber: penulis, 2013

Gambar 10. Grafik quenching dengan air laut, waktu tahan 3 jam

Kecepatan pendinginan dengan air laut, pada penahanan waktu 3 jam :

- T_2 : 950 °C
- T_3 : 73,6 °C
- t_2 : 240 menit
- t_3 : 241 menit

$$V_{Oli} = \frac{T_3 - T_2}{t_3 - t_2} = \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{73,6 - 950}{241 - 240} = -876,4 \text{ } ^\circ\text{C/min.}$$



Sumber: penulis, 2013

Gambar 10. Grafik quenching dengan air laut, waktu tahan 4 jam

Kecepatan pendinginan dengan air laut, pada penahanan waktu 4 jam :

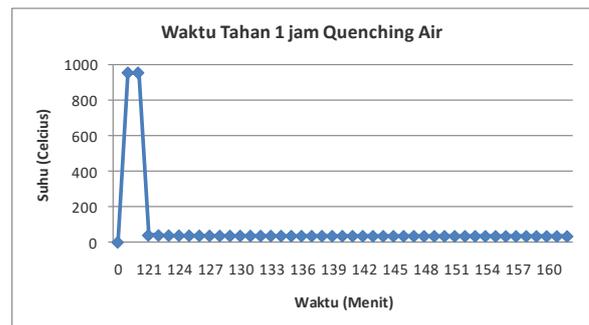
- T_2 : 950 °C
- T_3 : 44,5 °C
- t_2 : 300 menit
- t_3 : 301 menit

$$V_{AirLaut} = \frac{T_3 - T_2}{t_3 - t_2} = \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{44,5 - 950}{301 - 300} = -905,5 \text{ } ^\circ\text{C/min.}$$

Suhu carburizing 950° C, waktu tahan 1 jam setelah di-quenching dengan air laut dan dibiarkan selama 1 menit, suhu turun menjadi 39,8°C, suhu terus turun sampai 33,6° C. Waktu tahan 2 jam, suhu turun menjadi 39,4° C, suhu terus turun sampai 32,3° C. Waktu tahan 3 jam, suhu turun menjadi 41,8° C, suhu terus turun sampai 34° C. Waktu tahan 4 jam, suhu turun menjadi 41,2° C, suhu terus turun sampai 33,8° C.

Kecepatan pendinginan pada temperatur akhir penahanan dan temperatur setelah material di-quench dengan air laut. Waktu tahan 1 jam adalah 910,2 °C/min, waktu tahan 2 jam adalah 910,6 °C/min, waktu tahan 3 jam adalah 908,2 °C/min, dan waktu tahan 4 jam adalah 905,5 °C/min.

- *Quenching Air* :



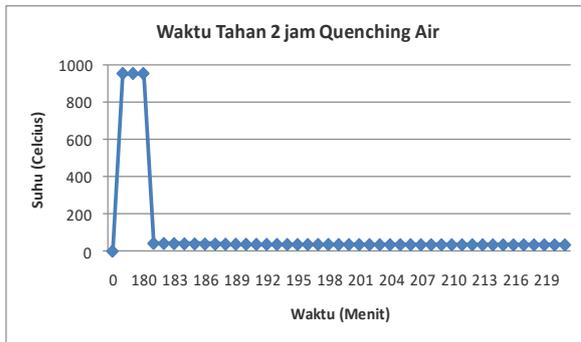
Sumber: penulis, 2013

Gambar 11. Grafik quenching dengan air, waktu tahan 1 jam

Kecepatan pendinginan dengan air, pada penahanan waktu 1 jam :

- T_2 : 950 °C
- T_3 : 39,2 °C
- t_2 : 120 menit

$$V_{Air} = \frac{T_3 - T_2}{t_3 - t_2} = \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{39,2 - 950}{121 - 120} = -910,8 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min.}$$



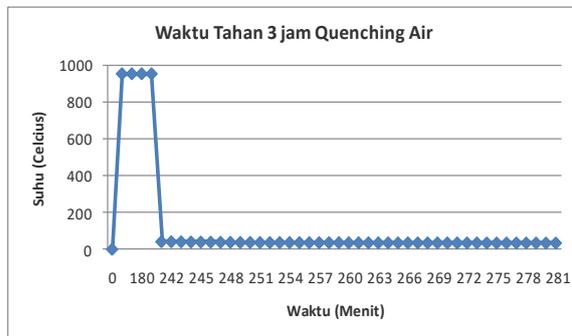
Sumber: penulis, 2013

Gambar 12. Grafik quenching dengan air, waktu tahan 2 jam

Kecepatan pendinginan dengan air, pada penahanan waktu 2 jam :

- T_2 : 950 °C
- T_3 : 41,7 °C
- t_2 : 180 menit
- t_3 : 181 menit

$$V_{Air} = \frac{T_3 - T_2}{t_3 - t_2} = \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{41,7 - 950}{181 - 180} = -908,3 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min.}$$



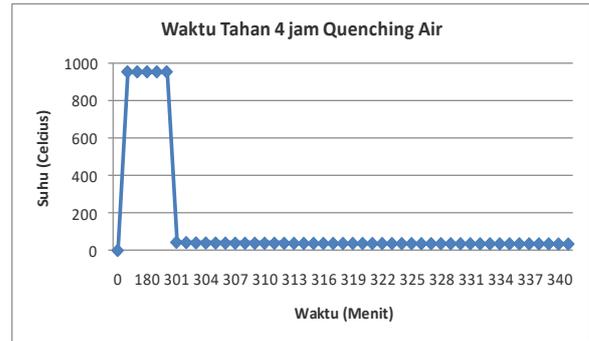
Sumber: penulis, 2013

Gambar 13. Grafik quenching dengan air, waktu tahan 3 jam

Kecepatan pendinginan dengan air, pada penahanan waktu 3 jam :

- T_2 : 950 °C
- T_3 : 41,2 °C
- t_2 : 240 menit
- t_3 : 241 menit

$$V_{Air} = \frac{T_3 - T_2}{t_3 - t_2} = \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{41,2 - 950}{241 - 240} = -908,8 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min.}$$



Sumber: penulis, 2013

Gambar 14. Grafik quenching dengan air, waktu tahan 4 jam

Kecepatan pendinginan dengan air, pada penahanan waktu 4 jam :

- T_2 : 950 °C
- T_3 : 43,5 °C
- t_2 : 300 menit
- t_3 : 301 menit

$$V_{Air} = \frac{T_3 - T_2}{t_3 - t_2} = \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{43,5 - 950}{301 - 300} = -906,5 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min.}$$

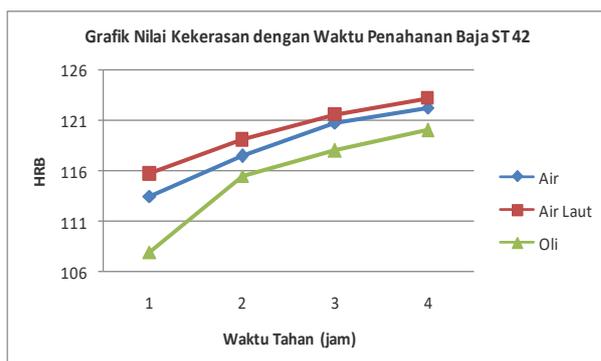
Suhu carburizing 950° C, waktu tahan 1 jam setelah di-quenching dengan air dan dibiarkan selama 1 menit, suhu turun menjadi 39,2° C, suhu terus turun sampai 33,3° C. Waktu tahan 2 jam, suhu turun menjadi 41,7° C, suhu terus turun sampai 33,8° C. Waktu tahan 3 jam, suhu turun menjadi 41,2° C, suhu terus turun sampai 33,8° C. Waktu tahan 4 jam, suhu turun menjadi 43,5° C, suhu terus turun sampai 34,2° C.

Kecepatan pendinginan pada temperatur akhir penahanan dan temperatur setelah material di-quench dengan air. Waktu tahan 1 jam adalah 910,8 °C/min, waktu tahan 2 jam adalah 910,6 °C/min, waktu tahan 3 jam adalah 908,8 °C/min, dan waktu tahan 4 jam adalah 906,5 °C/min.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Kecepatan Pendinginan

Media	Kecepatan Pendinginan per Waktu Tahan (oC/min)				Rata-rata (oC/min)
Quenching	1 jam	2 jam	3 jam	4 jam	
Oli	878.45	877.7	876.4	882.5	878.7625
Air Laut	910.2	910.6	908.2	905.5	908.625
Air	910.8	908.3	908.8	906.5	908.6

Sumber: penulis, 2013



Sumber: penulis, 2013

Gambar 15. Grafik Nilai Kekerasan dengan Waktu Penahanan Baja ST 42 Setelah di Quenching

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Setelah memperoleh data dari hasil-hasil pengujian kekerasan pada proses pengkarbonan padat dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Proses pengkarbonan padat dapat menaikkan nilai kekerasan dari baja karbon. Semakin lama waktu penahanan kekerasan permukaan baja karbon rendah semakin meningkat. Hal ini dapat dilihat dari hasil pengujian kekerasan, yaitu kekerasan awal Baja ST 42 sebelum proses *pack carburizing* adalah sebesar 95,55 HRB. Setelah dilakukan proses *pack carburizing* dengan menggunakan media arang batok biji pala dengan suhu 950°C dan variasi waktu tahan 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, maka didapatkan :
 - Waktu tahan 1 jam, *quenching* oli kekerasannya naik menjadi 107,875 HRB, *quenching* air kekerasannya naik menjadi 113,5 HRB, sedangkan *quenching* air laut kekerasannya naik menjadi 115,7 HRB.
 - Waktu tahan 2 jam, *quenching* oli kekerasannya naik menjadi 115,5 HRB, *quenching* air kekerasannya naik menjadi 117,45 HRB, sedangkan *quenching* air laut kekerasannya menjadi 119,1 HRB.
 - Waktu tahan 3 jam, *quenching* oli kekerasannya naik menjadi 118,025 HRB, *quenching* air kekerasannya naik menjadi 120,75 HRB, sedangkan *quenching* air laut kekerasannya menjadi 121,625 HRB.
 - Waktu tahan 4 jam, *quenching* oli kekerasannya naik menjadi 120,025 HRB, *quenching* air kekerasannya naik menjadi 122,325 HRB, sedangkan *quenching* air laut kekerasannya menjadi 123,225 HRB.
- Media Quenching yang paling baik adalah air laut. Karena air laut memiliki kandungan garam yang dapat meningkatkan nilai kekerasan dari baja karbon.

5.2. Saran

- Karena keterbatasan penelitian ini maka diharapkan pada penelitian – penelitian selanjutnya tentang proses pengkarbonan padat diharapkan dapat menganalisa dari sifat-sifat fisik dan kimia dari berbagai media *quenching* (pendinginan).
- Untuk mengukur distribusi temperatur tiap media *quenching*, diharapkan memakai alat ukur dengan jumlah yang sama dengan variasi media *quenching* yang digunakan agar dapat memperoleh hasil yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Aramide, F.O., et al., 2010, *Pack Carburization of Mild Steel, using Pulverized Bone as Carburizer: Optimizing Process Parameters*, Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, Issue 16, January-June 2010, pp 1-12.
- Bahtiar, Muh. Iqbal dan Supramono., 2014, *Pengaruh Media Pendingin Minyak Pelumas Sae 40 Pada Proses Quenching dan Tempering Terhadap Ketangguhan Baja Karbon Rendah*, Jurnal Mekanikal Vol. 5 No. 1: Januari 2014, pp: 455-463.
- Beumer, B.J.M., 1994, *Ilmu Bahan Logam: Jilid III*, Terjemahan B.S. Anwir, Penerbit Bharata, Jakarta.
- Darmawi dan Andri Putra, M. Amin, 2009, *Perbedaan Struktur Mikro, Kekerasan, Dan Ketangguhan Baja Hq 705 Bila Diquench Dan Ditemper Pada Media Es, Air Dan Oli*, Jurnal Rekayasa Mesin, Vol. 9, No. 1, Maret 2009.
- Karmin., 2009, *Pengendalian Proses Pengerasan Baja Dengan Metoda Quenching*. Jurnal Austenit, Vol. 1, No.2, Oktober 2009, Politeknik Negeri Padang. Padang.
- Mulyadi., dan Sunitra, Eka., 2010, *Kajian Perubahan Kekerasan dan Difusi Karbon Sebagai Akibat Dari Proses Karburisasi dan Proses Kuancing Pada Material Gigi Perontok Power Thresher*. Jurnal Teknik Mesin. Vol. 7, No. 1, Juni 2010, 33-49, ISSN 1829-8958.
- Purboputro, I.P., 2006, *Pengaruh Waktu Penahanan Terhadap Sifat Mekanis Pada Proses Pengkarbonan Baja Mild Steel Roda Gigi Rantai Sepeda Motor RX Spesial*, Jurnal MEDIA MESIN, Vol. 7, No. 1, Januari 2006, 9-16.
- Schonmetz, A., dan Gruber, K., 1985, *Pengetahuan Bahan Dalam Pengerjaan Logam*, Penerbit Angkasa, Bandung.
- Suratman, Rochim., 1994, *Panduan Proses Perlakuan Panas*, Lembaga Penelitian ITB, Bandung.
- Taonisi, Ahmad., Sudarja., dan Rahman, Muh Budi Nur., 2010, *Pemanfaatan Limbah Cangkang Pala Sebagai Bahan Briket Arang Untuk Mendukung Kebutuhan Energi Nasional*, Seminar Nasional Teknik Mesin, UMY, Yogyakarta.

- Trihutomo, P., 2014, *Pengaruh Proses Annealing Pada Hasil Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon Rendah*, Jurnal Teknik Mesin, Tahun 22, No. 1, April 2014.
- Van Vlack, H. Lawrence., 1992, *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)*. Terjemahan Srianti Djaprie, Edisi Kelima, Penerbit Erlangga, Jakarta.