

**PENGARUH SUHU DAN WAKTU TAHAN
TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN
BAJA TAHAN KARAT AISI 316L PADA PROSES
CARBURIZING DENGAN MEDIA KARBON ARANG BAMBU**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang fisika

oleh:
ADIN LUTFI NURSELA
145090300111008



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

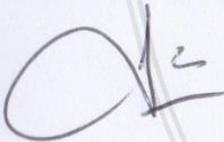
PENGARUH SUHU DAN WAKTU TAHAN
TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN
BAJA TAHAN KARAT AISI 316L PADA PROSES
CARBURIZING DENGAN MEDIA KARBON ARANG BAMBU

oleh :

ADIN LUTFI NURSELA
145090300111008

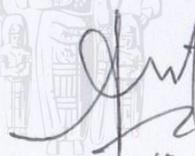
Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal **31 MAY 2018**
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang fisika

Pembimbing I



Dr. Istiroyah, S.Si., MT
NIP. 197408151999032002

Pembimbing II



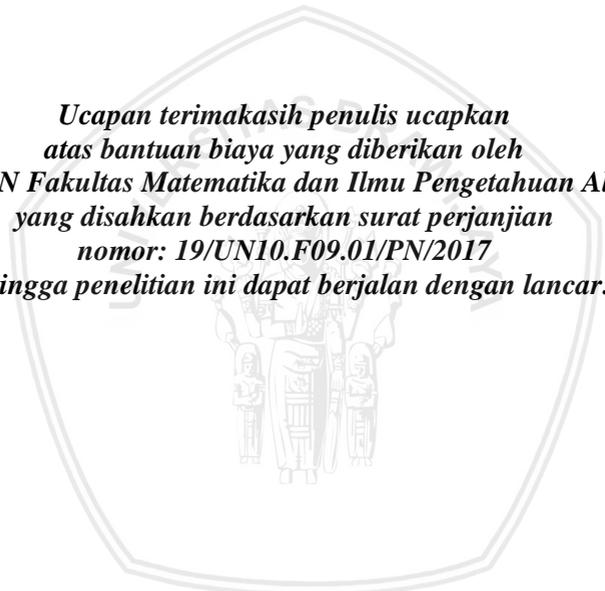
Mauludi Ariesto P., Ph.D
NIP. 197304122000031013

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya



Prof. Dr. rer. nat. Muhammad Nurhuda
NIP. 196409101990021001





***Ucapan terimakasih penulis ucapkan
atas bantuan biaya yang diberikan oleh
BOPTN Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
yang disahkan berdasarkan surat perjanjian
nomor: 19/UN10.F09.01/PN/2017
sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.***



LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : ADIN LUTFI NURSELA
NIM : 145090300111008
Jurusan : FISIKA
Penulis Skripsi berjudul :

“PENGARUH SUHU DAN WAKTU TAHAN TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN BAJA TAHAN KARAT AISI 316L PADA PROSES CARBURIZING DENGAN MEDIA KARBON ARANG BAMBU”

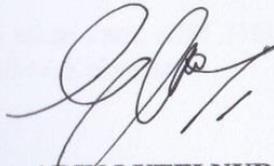
Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam Skripsi ini.
2. Apabila dikemudian hari ternyata Skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, **31 MAY 2018**

Yang menyatakan,



ADIN LUTFI NURSELA
NIM. 145090300111008



repository.ub.ac.id

**PENGARUH SUHU DAN WAKTU TAHAN
TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN
BAJA TAHAN KARAT AISI 316L PADA PROSES
CARBURIZING DENGAN MEDIA KARBON ARANG BAMBU**

ABSTRAK

Baja tahan karat AISI 316L memiliki daya tahan korosi dan keuletan yang baik, namun memiliki kekerasan yang rendah. Kekerasan baja tahan karat AISI 316L dapat ditingkatkan melalui modifikasi permukaan yang sederhana. Penelitian ini menggunakan *pack carburizing* dengan menggunakan media karbon arang bambu. Spesimen dipanaskan pada suhu 400°C, 500°C, 600°C selama 12, 16, 20, dan 24 jam. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh suhu dan waktu tahan terhadap struktur mikro dan kekerasan baja tahan karat AISI 316L. Spesimen hasil *carburizing* dianalisis dengan menggunakan mikroskop optik untuk mengetahui perubahan struktur mikro dan *micro vickers hardness tester* untuk mengetahui perubahan nilai kekerasan permukaan. Berdasarkan hasil uji struktur mikro, terdapat perubahan fase pada spesimen yang dipanaskan pada suhu 600°C selama 20 jam dan 24 jam. Austenit berubah menjadi ferit dan terdapat interstisi karbon di batas butir. Perubahan struktur mikro tersebut memberikan pengaruh terhadap kekerasan yang didapatkan. Seluruh spesimen mengalami kenaikan kekerasan, dengan nilai kekerasan tertinggi yaitu pada spesimen yang dipanaskan pada suhu 600°C selama 20 jam mencapai 237,7 HV_{0,5} yang berarti 134,2% lebih keras daripada spesimen tanpa perlakuan (101,5 HV_{0,5}).

Kata Kunci: Baja tahan karat AISI 316L, *Pack carburizing*, Arang bambu, Struktur mikro, Kekerasan



repository.ub.ac.id

THE EFFECT OF TEMPERATURE AND HOLDING TIME ON MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF AISI 316L STAINLESS STEEL IN CARBURIZING PROSES USING BAMBOO CHARCOAL AS CARBON

ABSTRACT

AISI 316L stainless steel has good corrosion resistance and ductility, however this steel has low hardness. The hardness of AISI 316L stainless steel could be improved by simple surface modification. This research used pack carburizing with bamboo charcoal as carbon. Specimens were heated at 400°C, 500°C, 600°C for 12, 16, 20 and 24 hours. The purpose of this research was to analyze the effect of temperature and holding time on microstructure and hardness of AISI 316L stainless steel. Carburized specimens were analyzed by optical microscopy to observe the microstructure transformation and micro vickers hardness tester to observe the surface hardness value. Based on microstructure observation, there was phase transformation on specimen that heated at 600°C for 20 hours and 24 hours. Austenite transformed into ferrite and there were carbon interstitial in the grain boundary. Microstructure transformation gave effect to the surface hardness. All hardness of specimens increased, the highest hardness value on specimen that heated at 600°C for 20 hours is 237,7 HV_{0,5} which means 134,2% harder than untreated specimen (101,52 HV_{0,5}).

Keyword: AISI 316L stainless steels, Pack carburizing, Bamboo charcoal, Microstructure, Hardness



KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan kekuatan, nikmat sehat, berkah serta rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul “Pengaruh Suhu dan Waktu Tahan terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Baja Tahan Karat AISI 316L pada Proses *Carburizing* dengan Media Karbon Arang Bambu”. Skripsi ini merupakan prasyarat memperoleh gelar sarjana dalam bidang sains di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya. Tersusunnya laporan skripsi ini tidak lepas dari dorongan, bimbingan, bantuan, dan peran aktif dari berbagai pihak. Oleh karena itu tidak berlebihan apabila dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

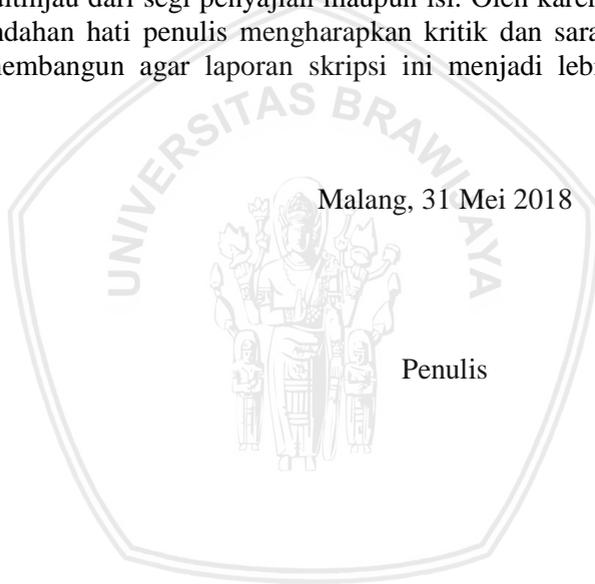
1. Kedua orang tua tercinta (Drs. M. Nuryan dan Ultufiah, A.Ma) yang selalu mendukung baik moril maupun materiil, adik Fera Zakiyatud Darojatun serta keluarga besar Bani H. Chudori dan Bani H. Salim yang selalu memberikan semangat
2. Bapak Prof.Dr.rer.nat. Muhammad Nurhuda selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA UB yang telah mencurahkan segenap waktu dan pemikirannya untuk Jurusan Fisika
3. Ibu Dr. Eng. Masruroh, M.Si selaku Ketua Program Studi S1 Fisika
4. Ibu Dr. Istiroyah, S.Si.,MT selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam penyusunan laporan skripsi ini
5. Bapak Mauludi Ariesto Pamungkas, S.Si.,M.Si.,Ph.D selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan dan masukan dalam penyelesaian laporan skripsi ini
6. Ibu Cholisia Anik Perwita, S.Si.,M.Si selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan nasihat dan dukungan
7. Seluruh Dosen Jurusan Fisika FMIPA UB yang telah memberikan ilmu dan bimbingan kepada penulis
8. Bapak Puji Santoso selaku laboran Laboratorium Fisika Material yang telah banyak membantu kelancaran penyusunan laporan skripsi ini

9. Tim Penelitian Lusita Sulandari, Pugoh Adi Marnianto, Yelly Zelfita, Septi Dwi Lestari, Bella Altika Sari, Jias Oktavia Marnaningrum, Rena Wahyu Dhiaul In'am, dan Anggraeni Mulyadewi
10. Sahabat-sahabat tersayang Selin Lusiana dan Diah Utami
11. Teman-teman Fisika angkatan 2014 atas dukungan dan semangat kebersamaan yang telah diberikan
12. Seluruh Pengurus Himpunan Mahasiswa Fisika Universitas Brawijaya periode 2017 yang telah membantu penulis dalam berbagi pengalaman

Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini masih jauh dari sempurna, baik ditinjau dari segi penyajian maupun isi. Oleh karena itu dengan kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun agar laporan skripsi ini menjadi lebih baik.

Malang, 31 Mei 2018

Penulis



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
UCAPAN TERIMAKASIH	iii
LEMBAR PERNYATAAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	Error! Bookmark not defined.
1.1 Latar Belakang	Error! Bookmark not defined.
1.2 Rumusan Masalah.....	Error! Bookmark not defined.
1.3 Batasan Masalah	Error! Bookmark not defined.
1.4 Tujuan Penelitian	Error! Bookmark not defined.
1.5 Manfaat Penelitian	Error! Bookmark not defined.
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	Error! Bookmark not defined.
2.1 Baja AISI 316L.....	Error! Bookmark not defined.
2.2 Difusi	Error! Bookmark not defined.
2.3 <i>Carburizing</i>	Error! Bookmark not defined.
2.4 Karbon	Error! Bookmark not defined.
2.5 Struktur Mikro	Error! Bookmark not defined.
2.6 Kekerasan	Error! Bookmark not defined.
BAB III METODE PENELITIAN ...	Error! Bookmark not defined.
3.1 Waktu dan Tempat.....	Error! Bookmark not defined.
3.2 Alat dan Bahan.....	Error! Bookmark not defined.

- 3.3 Prosedur PenelitianError! Bookmark not defined.
- 3.3.1 Persiapan Spesimen ..**Error! Bookmark not defined.**
- 3.3.2 Pembuatan Karbon....**Error! Bookmark not defined.**
- 3.3.3 Proses *Carburizing* ...**Error! Bookmark not defined.**
- 3.3.4 Pengujian**Error! Bookmark not defined.**

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....Error! Bookmark not defined.

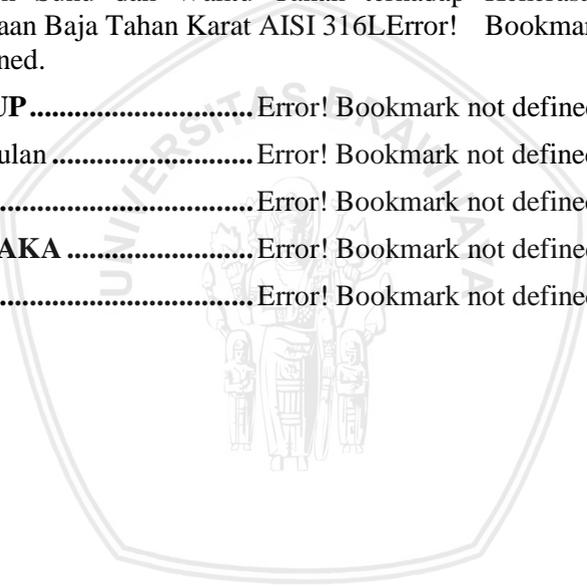
- 4.1. Pengaruh Suhu dan Waktu Tahan terhadap Struktur Mikro Baja Tahan Karat AISI 316L.**Error! Bookmark not defined.**
- 4.2. Pengaruh Suhu dan Waktu Tahan terhadap Kekerasan Permukaan Baja Tahan Karat AISI 316L**Error! Bookmark not defined.**

BAB V PENUTUP.....Error! Bookmark not defined.

- 5.1 KesimpulanError! Bookmark not defined.
- 5.2 SaranError! Bookmark not defined.

DAFTAR PUSTAKAError! Bookmark not defined.

LAMPIRAN.....Error! Bookmark not defined.



DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1 Skema terjadinya difusi interstisi **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.2 Skema perubahan energi aktivasi pada difusi interstisi
..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.3 Difusi atom-atom ke permukaan material berdasarkan hukum kedua Fick..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.4 *Pack carburizing*..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.5 Diagram fase Fe-Fe₃C... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.6 Struktur mikro (a) Austenit 325x dan (b) Ferit 500x
..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.7 (a) Butir hasil etsa yang terlihat pada mikroskop optik dan (b) karakteristik pantulan cahaya yang diperlihatkan pada permukaan dengan orientasi kristalografi yang berbeda..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.8 Bentuk indenter uji *vickers microhardness* (a) tampilan samping (b) tampilan atas **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.1 Diagram alir penelitian . **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.2 Arang bambu hasil proses karbonisasi **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.3 Karbon yang mengalami proses penetralan dengan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.4 Bak instrumen yang dimasukkan ke dalam tanur tipe L471 **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.5 *Spectrometer Arc Metorex Arc.met 8000* **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.6 *Micro Vickers Hardness Tester TH712*..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.7 Mikroskop Optik Olympus BX51 **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.8 Proses *mounting*..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.1 Struktur mikro baja tahan karat AISI 316L tanpa perlakuan (500x) **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.2 Struktur mikro permukaan baja AISI 316L hasil *carburizing* pada suhu 400°C (500x) **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.3 Struktur mikro permukaan baja AISI 316L hasil *carburizing* pada suhu 500°C (500x) **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.4 Struktur mikro permukaan baja AISI 316L hasil *carburizing* pada suhu 600°C (500x) **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.5 Struktur mikro pada baja AISI 316L hasil *carburizing* pada suhu 600°C bagian *cross section* (200x).....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.6 Nilai kekerasan permukaan baja tahan karat AISI 316L hasil *carburizing* terhadap variasi waktu.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.7 Nilai kekerasan permukaan baja tahan karat AISI 316L hasil *carburizing* terhadap variasi waktu.....**Error! Bookmark not defined.**



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi baja tahan karat AISI 316L dalam wt% ..**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 3.1 Rincian perlakuan sampel pada proses *carburizing* ..**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.1 Komposisi kimia baja tahan karat AISI 316L.....**Error! Bookmark not defined.**

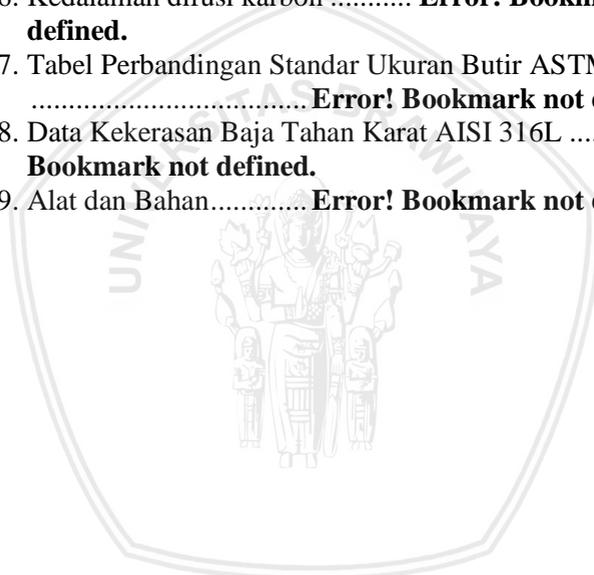
Tabel 4.2 Persen kenaikan nilai kekerasan permukaan baja tahan karat AISI 316L hasil *carburizing*... **Error! Bookmark not defined.**





DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Data perhitungan ukuran butir baja tahan karat AISI 316L pada suhu 400°C . **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 2. Data perhitungan ukuran butir baja tahan karat AISI 316L pada suhu 500°C . **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 3. Data perhitungan ukuran butir baja tahan karat AISI 316L pada suhu 600°C . **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 4. Data perhitungan ukuran butir baja tahan karat AISI 316L tanpa perlakuan... **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 5. Perhitungan Ukuran Butir Baja Tahan Karat AISI 316L **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 6. Kedalaman difusi karbon **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 7. Tabel Perbandingan Standar Ukuran Butir ASTM E112 **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 8. Data Kekerasan Baja Tahan Karat AISI 316L **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 9. Alat dan Bahan..... **Error! Bookmark not defined.**





DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

Istilah/singkatan	Keterangan
AISI	american steel and iron institution
% wt	persen berat
FCC	<i>face-centered cubic</i>
BCC	<i>body-centered cubic</i>
HV	<i>hardness vickers</i>
HV _{0,5}	<i>hardness vickers</i> (dengan gaya tekan 0,5 N)
HCl	asam klorida
HNO ₃	asam nitrat
<i>Mesh</i>	banyaknya lubang pada ayakan luasan satu inch persegi
<i>Mounting</i>	pelapisan sampel logam dengan zat organik seperti resin dengan maksud mempermudah penanganan selama persiapan metalografi
Na ₂ CO ₃	natrium karbonat
Waktu tahan	lama waktu pemanasan yang digunakan selama proses <i>carburizing</i>

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja tahan karat AISI (American Iron and Steel Institute) 316L merupakan jenis baja yang secara luas telah banyak digunakan pada berbagai bidang industri, seperti pada industri kimia, makanan, otomotif, instrumen medis dan peralatan farmasi. Hal ini berkaitan dengan sifat ketahanan korosi yang sangat baik, ketangguhan yang tinggi, dan mampu bentuk yang baik. Salah satu kekurangan utama dari bahan ini adalah kekerasannya yang rendah (Ceschini dkk., 2012). Aplikasi baja tahan karat AISI 316L pada komponen yang memerlukan sifat keras pada permukaan dan tetap ulet pada bagian dalam diperlukan suatu rekayasa permukaan. Terdapat beberapa metode yang telah dikembangkan untuk meningkatkan kekerasan permukaan bahan ini. Salah satu metode paling efektif adalah dengan pengerasan secara difusi interstisial karbon (Wang dkk., 2017). Metode sederhana untuk mencapai pengerasan melalui difusi karbon adalah dengan menggunakan metode *pack carburizing* (Klenam dkk., 2015).

Carburizing merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengerasakan permukaan baja dengan cara dipanaskan pada suhu tertentu dalam lingkungan yang mengandung karbon. Sifat karbon yang semakin cepat bergerak dengan adanya kenaikan suhu mengindikasikan bahwa konsentrasi interstisial yang tinggi dapat dicapai pada temperatur yang tinggi. Namun pada baja AISI 316L perlakuan temperatur tinggi menstimulus terbentuknya presipitasi kromium karbida yang berdampak sangat negatif pada properti mekanis dan ketahanan korosi baja. Pendekatan yang efektif yang telah dikembangkan adalah dengan difusi interstisial pada suhu rendah. Suhu rendah pada konteks ini berarti suhu saat atom logam *immobile*, namun atom karbon masih dapat berdifusi di celah antar atom logam (Wang dkk., 2017).

Karbon dapat dibuat dari berbagai macam bahan dasar yang mengandung karbon, seperti batu bara, tempurung kelapa, limbah pinus dan kayu. Bambu merupakan salah satu jenis tanaman yang mengandung karbon, melimpah dan murah di Indonesia. Kadar karbon arang bambu cukup tinggi, yaitu mencapai 66,41% (Negara, 2016).

repository.ub.ac.id

Pada penelitian yang dilakukan oleh Fiawoyife (2012) dan Klenam dkk., (2015), yang melakukan *pack carburizing* pada suhu 450-750°C selama 24 jam telah mampu meningkatkan kekerasan permukaan baja tahan karat AISI 316L. Namun, *pack carburizing* dengan suhu pemanasan 650°C menghasilkan properti mekanik yang kurang baik. Selain itu, pada kedua penelitian ini tidak diketahui jenis karbon yang digunakan. Menurut Negara (2016), penggunaan arang bambu pada proses *carburizing* menghasilkan kekerasan permukaan yang cukup tinggi dan memberikan efektifitas kedalaman yang tinggi. Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan sumber karbon dari arang bambu, serta dilakukan variasi suhu dan waktu tahan pada proses *carburizing*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh suhu pada proses *carburizing* menggunakan media karbon arang bambu terhadap struktur mikro dan kekerasan permukaan baja tahan karat AISI 316L?
2. Bagaimana pengaruh waktu tahan pada proses *carburizing* menggunakan media karbon arang bambu terhadap struktur mikro dan kekerasan permukaan baja tahan karat AISI 316L?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Metode rekayasa permukaan yang dilakukan adalah *pack carburizing*. Metode *pack carburizing* tergolong sederhana, karena sistem pengontrolan yang mudah dan bahan-bahan yang dibutuhkan mudah untuk ditemukan. Selain itu, alat yang digunakan telah tersedia di Laboratorium Material Jurusan Fisika Universitas Brawijaya.
2. Sumber karbon berasal dari arang bambu. Bambu merupakan salah satu jenis tanaman yang mengandung karbon, melimpah dan tergolong bahan yang murah di Indonesia. Kandungan karbon pada bambu tergolong tinggi, yaitu mencapai 66,41%. Telah dilakukan penelitian oleh Negara (2016) yang memvariasikan beberapa sumber karbon pada proses *carburizing*, sehingga diketahui bahwa karbon arang bambu

- menghasilkan nilai kekerasan yang cukup tinggi dan memberikan efektifitas kedalaman kekerasan yang tinggi.
3. Penelitian ini menggunakan suhu 400°C, 500°C, dan 600°C. Pada umumnya perlakuan panas dilakukan pada suhu tinggi atau suhu austenisasi yaitu di atas 727°C. Penggunaan suhu tinggi pada baja AISI 316L kurang sesuai, karena akan menyebabkan terjadinya presipitasi kromium karbida pada batas butir yang berdampak pada menurunnya sifat ketahanan korosi baja. Selain itu pada penelitian yang pernah dilakukan oleh Fiawoyife (2012), menjelaskan bahwa penggunaan suhu di atas 650°C menghasilkan properti mekanik yang kurang baik. Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan suhu 400°C, 500°C, dan 600°C yang tergolong suhu rendah, yaitu suhu saat atom logam *immobile*, namun atom karbon masih dapat berdifusi di celah antar atom logam.
 4. Waktu tahan yang digunakan adalah 12 jam, 16 jam, 20 jam, dan 24 jam. Jika sejumlah besar atom harus berdifusi untuk menghasilkan struktur yang seragam, waktu yang lama diperlukan pada pemanasan dengan suhu yang rendah. Pada umumnya waktu tahan yang digunakan pada proses *carburizing* menggunakan suhu tinggi adalah kurang dari 3 jam, sehingga pada penelitian yang menggunakan suhu rendah ini digunakan waktu tahan yang cukup lama yaitu mulai dari 12 jam. Kedalaman difusi sebanding dengan akar waktu, sehingga perbedaan waktu yang kecil menghasilkan perbedaan kedalaman yang sedikit. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan interval waktu 4 jam. Waktu maksimal dipilih 24 jam karena proses pemanasan dilakukan dengan menggunakan alat yang bekerja dengan energi tinggi, sehingga ketika digunakan pada waktu yang sangat lama (lebih dari 24 jam) kemungkinan dapat terjadi kerusakan pada alat.
 5. Pengujian dilakukan dengan menggunakan Mikroskop Optik dan *Micro Vickers Hardness Tester*

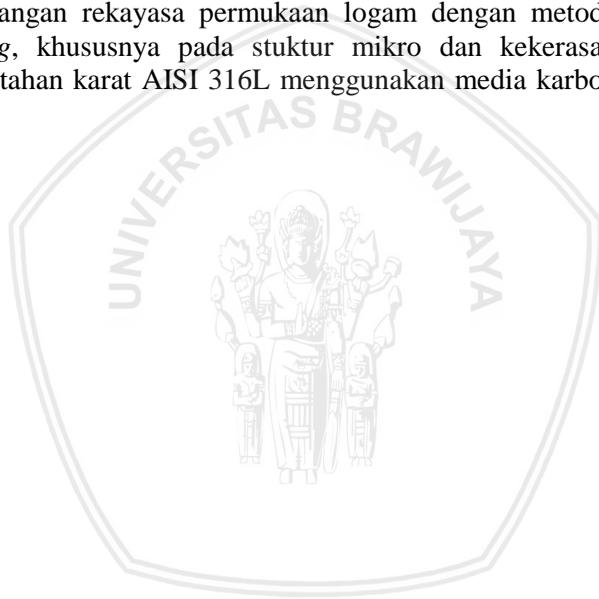
1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh suhu pada proses *carburizing* menggunakan media karbon arang bambu terhadap struktur mikro dan kekerasan permukaan baja tahan karat AISI 316L
2. Menganalisis pengaruh waktu tahan pada proses *carburizing* menggunakan media karbon arang bambu terhadap struktur mikro dan kekerasan permukaan baja tahan karat AISI 316L

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan kontribusi ilmiah pengembangan rekayasa permukaan logam dengan metode *pack carburizing*, khususnya pada stuktur mikro dan kekerasan permukaan baja tahan karat AISI 316L menggunakan media karbon arang bambu.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja AISI 316L

Baja merupakan paduan unsur besi dan karbon yang juga mengandung unsur paduan lain sebagai campurannya (Callister dan Rethwisch, 2014). Terdapat ribuan paduan yang masing-masing memiliki komposisi yang berbeda, salah satunya adalah baja AISI 316L. Berdasarkan sistem penamaan AISI (American Iron and Steel Institute), dua angka pertama menunjukkan unsur paduan utama pada baja, dua atau tiga angka terakhir menunjukkan persentase kandungan karbon (Askeland dkk., 2009), dan penambahan huruf L menunjukkan bahwa baja tersebut merupakan kelompok baja dengan kandungan karbon yang rendah (Vlack, 1994). Berdasarkan sistem penamaan tersebut dapat diketahui bahwa baja AISI 316L memiliki kandungan karbon yang rendah. Komposisi baja ini ditunjukkan oleh Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi baja tahan karat AISI 316L dalam wt% (Ceschini dkk., 2012)

C	Cr	Fe	Mn	Mo	Ni	P	S	Si
0,03	17	65	2	2,5	12	0,045	0,03	1

Properti mekanik dari baja dipengaruhi oleh kandungan unsur karbon. Kandungan karbon dalam baja biasanya kurang dari satu persen berat. Baja dapat diklasifikasikan berdasarkan kandungan karbon, yaitu baja karbon rendah ($<0,25$ wt%), baja karbon sedang (antara $0,25$ wt% s.d $0,6$ wt%), dan baja karbon tinggi (antara $0,6$ wt% s.d $1,4$ wt%). Berdasarkan kandungan karbon baja tahan karat AISI 316L (Tabel 2.1), maka baja tersebut tergolong pada baja karbon rendah. Baja karbon rendah tidak responsif terhadap metode perlakuan panas yang digunakan untuk membentuk martensit dan penguatan dilakukan dengan metode kerja dingin. Baja ini relatif lunak dan lemah tetapi memiliki keuletan dan ketangguhan yang luar biasa, serta memiliki mampu mesin, mampu las dan tergolong baja yang murah untuk diproduksi (Callister dan Rethwisch, 2014).

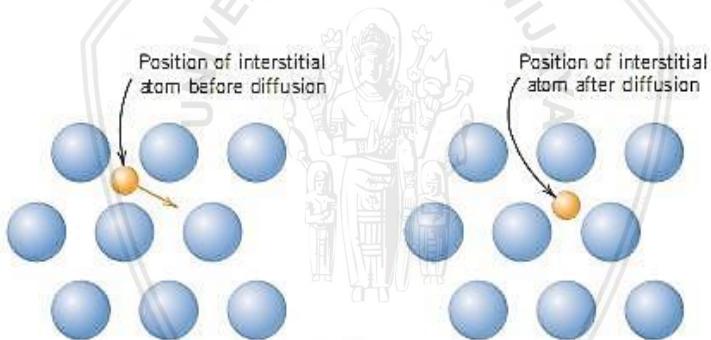
Baja AISI 316L tergolong dalam baja tahan karat karena konsentrasi kandungan kromiumnya. Baja tahan karat memiliki sifat ketahanan terhadap korosi yang luar biasa. Semua jenis baja tahan

karat memiliki kandungan kromium di atas 11% yang memungkinkan terbentuknya lapisan pelindung tipis berupa kromium oksida ketika baja terkena oksigen. Berdasarkan struktur kristal dan mekanisme penguatannya, baja tahan karat dapat digolongkan menjadi beberapa kategori. Baja AISI 316L yang memiliki kandungan Ni cukup tinggi tergolong dalam baja tahan karat austenit, karena Nikel dikenal sebagai unsur penstabil fase austenit. Baja tahan karat austenit tidak tergolong dalam baja feromagnetik yang memiliki struktur kristal FCC (*face center cubic*). Meski anti karat, baja paduan ini bisa mengalami sensitisasi. Ketika dipanaskan pada suhu 550–860°C, kromium karbida mengendap di sepanjang batas butir daripada di dalam butir. Hal ini menyebabkan penipisan kromium di bagian dalam butir dan akan menyebabkan baja lebih mudah berkarat (Askeland dkk., 2009).

Baja tahan karat austenit banyak digunakan dalam industri pengolahan kimia, makanan, otomotif, peralatan medis dan peralatan farmasi, karena ketahanan terhadap korosi yang sangat baik, ketangguhan yang tinggi dan mampu kerja yang baik. Keterbatasan utama dari baja tahan karat austenit adalah kekerasan yang rendah (Ceschini dkk., 2012). Pada aplikasi baja yang membutuhkan sifat keras di permukaan namun tetap ulet di bagian dalam, maka perlu dilakukan proses pengerasan permukaan. Pengerasan permukaan terhadap material baja dapat dilakukan melalui dua cara. Pertama, pengerasan permukaan untuk material baja yang mengandung serendah-rendahnya 0,35% karbon. Baja ini telah memenuhi syarat untuk dikeraskan secara langsung. Pemanasan pada temperatur pengerasan dilakukan secara cepat, agar panas tersebut hanya mencapai kedalaman permukaan yang tipis. Selanjutnya dilakukan proses pendinginan kejut agar dicapai struktur martensit hanya pada permukaannya saja dan bagian inti masih tetap ulet. Kedua, pengerasan permukaan pada material baja yang mengandung setinggi-tingginya 0,2% karbon. Baja ini termasuk dalam kelompok baja karbon rendah, yang tidak bisa langsung dikeraskan. Penambahan unsur karbon dibutuhkan agar jumlah kandungannya meningkat dengan cara difusi karbon kedalam struktur baja (Kuswanto, 2010).

2.2 Difusi

Difusi merupakan suatu fenomena transfer material melalui pergerakan atom. Pada proses difusi atom-atom pada suatu kisi kristal berpindah ke kisi lain. Ketika berpindah harus ada lokasi kosong yang berdekatan, dan atom harus memiliki energi yang cukup untuk memutuskan ikatan dengan atom tetangganya dan kemudian menyebabkan beberapa distorsi kisi selama perpindahan. Salah satu metode perpindahan atom-atom dalam proses difusi yaitu difusi interstisi (Callister dan Rethwisch, 2014). Difusi interstisi merupakan jenis difusi ketika atom atau ion interstisi berukuran kecil terdapat dalam struktur kristal, kemudian atom atau ion tersebut bergerak dari satu kisi interstisi ke kisi interstisi yang lain (Askeland dkk., 2009). Mekanisme difusi ini dapat terjadi pada atom-atom yang memiliki jari-jari yang sangat kecil seperti atom hidrogen, karbon, nitrogen dan oksigen. Jari-jari atom yang kecil memungkinkan atom-atom mengalami penyisipan di antara atom-atom yang lebih besar (Callister dan Rethwisch, 2014).



Gambar 2.1 Skema terjadinya difusi interstisi
(Callister dan Rethwisch, 2014)

Ketika atom-atom bergerak melewati atom di sekitarnya untuk mencapai lokasi barunya, atom harus memiliki energi yang cukup. Hal ini ditunjukkan secara skematik pada Gambar 2.2. Atom pada mulanya berada di lokasi yang memiliki energi rendah dan relatif stabil kemudian atom harus mengatasi energi penghalang untuk pindah ke lokasi baru. Energi penghalang tersebut berupa energi aktivasi Q . Energi termal memberikan atom atau ion suatu energi yang diperlukan untuk melewati penghalang. Kinetika difusi sangat

bergantung pada suhu. Suhu mempengaruhi koefisien difusi (D) yang dinyatakan oleh persamaan Arrhenius yang menyatakan bahwa ketika suhu bahan meningkat, koefisien difusi juga akan meningkat (Askeland dkk., 2009).

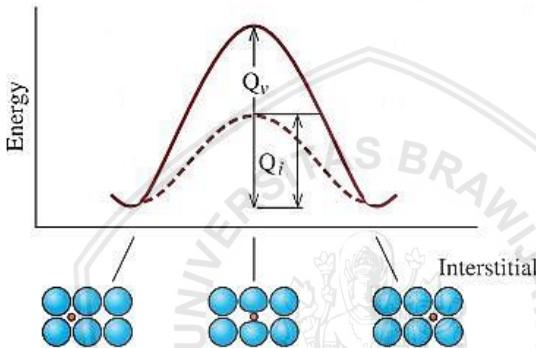
$$D = D_0 \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right) \quad (2.1)$$

Dimana Q = energi aktivasi (cal/mol)

R = konstanta gas $\left(1,987 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}}\right)$

T = suhu absolut (K)

D_0 = koefisien difusi saat $1/T=0$



Gambar 2.2 Skema perubahan energi aktivasi pada difusi interstisi (Askeland dkk., 2009)

Pada proses difusi perlu diketahui seberapa cepat difusi terjadi atau laju transfer massanya yang dinyatakan sebagai fluks difusi (J). Fluks difusi didefinisikan sebagai massa atau sejumlah atom yang berdifusi secara tegak lurus melalui bidang satuan luas per satuan waktu ($\text{atom}/\text{m}^2\text{s}$). Hukum pertama Fick menyatakan bahwa difusi pada kondisi *steady-state* terjadi dalam arah (x) tunggal dan fluks sebanding dengan gradient konsentrasi dc/dx ($\frac{\text{atom}}{\text{m}^3 \cdot \text{m}}$) yang dinyatakan sebagai

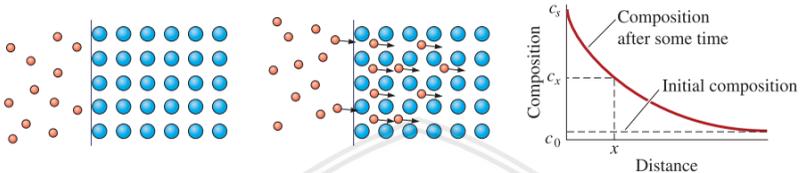
$$J = -D \frac{dc}{dx} \quad (2.2)$$

D merupakan koefisien difusi ($\frac{\text{m}^2}{\text{s}}$). Tanda negatif menunjukkan bahwa arah difusi terjadi dari konsentrasi tinggi menuju konsentrasi rendah (Callister dan Rethwisch, 2014). Energi termal pada atom atau ion menyebabkan pergerakan atom secara acak. Pada skala mikroskopis, gaya termodinamika penggerak difusi adalah gradien

konsentrasi. Fluks difusi bergantung pada suhu dan gradien konsentrasi (Askeland dkk., 2009).

Hukum kedua Fick terjadi dalam kondisi *non steady state* yang menyatakan bahwa fluks difusi dan gradien konsentrasi berubah terhadap waktu dalam daerah tertentu. Perubahan tersebut sebanding dengan perubahan dalam perbedaan konsentrasi pada titik tertentu di dalam sistem (Callister dan Rethwisch, 2014).

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (2.3)$$



Gambar 2.3 Difusi atom-atom ke permukaan material berdasarkan hukum kedua Fick (Askeland dkk., 2009)

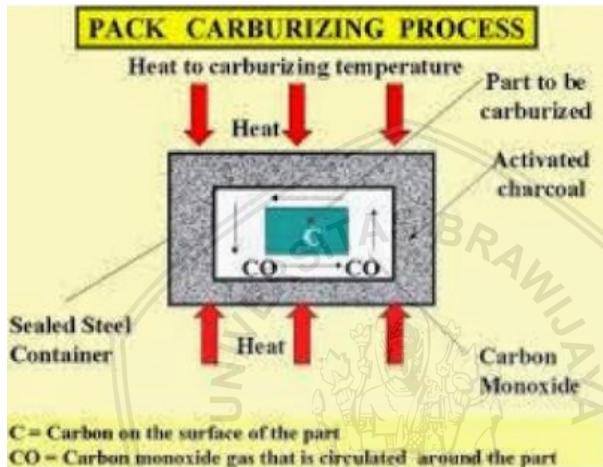
Hukum kedua Fick digunakan untuk menghitung konsentrasi suatu spesies difusi sebagai fungsi waktu (t) dan lokasi (x). Jika sejumlah besar atom harus berdifusi untuk menghasilkan struktur yang seragam, waktu yang lama mungkin diperlukan, bahkan pada suhu tinggi. Waktu untuk perlakuan panas dapat dikurangi dengan menggunakan suhu yang lebih tinggi atau dengan membuat jarak difusi (x) sekecil mungkin. Atom dapat berdifusi sepanjang batas butir, bagian antar muka dan pada permukaan material. Atom lebih mudah berdifusi di sepanjang batas butir, karena susunan atom pada batas butir lebih tidak teratur dan kurang rapat susunannya. Selain itu, difusi permukaan lebih mudah karena ada lebih sedikit kendala pada atom yang menyebar di permukaan (Askeland dkk., 2009).

2.3 *Carburizing*

Proses pengerasan permukaan baja karbon rendah dengan difusi atom karbon dapat dilakukan melalui metode *carburizing*. *Carburizing* adalah penambahan atom karbon ke dalam baja karbon rendah pada temperatur dan waktu tertentu. Terdapat beberapa jenis metode karburasi, yaitu *gas carburizing*, *vacum carburizing*, *plasma carburizing*, *salt bath carburizing* dan *pack carburizing*. Metode yang sebagian besar digunakan adalah karburasi gas. Karburasi vakum dan plasma digunakan karena tidak adanya oksigen pada *atmosphere*

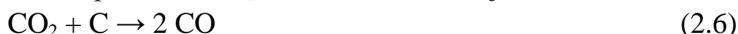
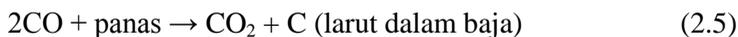
furnace. Karburasi salt bath dan pack merupakan metode komersil dan sederhana (Davis, 2002).

Pada *pack carburizing* komponen baja dipanaskan pada temperatur tertentu dalam kotak logam yang ditutup (*sealed metal box*) yang berisi media karburasi, yaitu bahan kaya karbon seperti arang (*charcoal*) dan *energizer* seperti barium karbonat. Atmosfer kaya karbon yang kontak dengan baja panas menghasilkan difusi karbon ke dalam permukaan baja (Hadi, 2016).



Gambar 2.4 *Pack carburizing* (Hadi, 2016)

Ketika dipanaskan baja memiliki kecenderungan untuk berafinitas dengan karbon, dimana karbon akan berdifusi ke dalam baja membentuk larutan padat. Bila berlangsung pada waktu yang cukup lama, maka lapisan luar akan memiliki kandungan karbon lebih tinggi dibandingkan sebelumnya. Panas pada proses *carburizing* menyebabkan oksidasi media karbon menghasilkan gas CO. Gas CO akan bereaksi dengan permukaan baja membentuk CO₂ dan atom karbon (C) yang selanjutnya berdifusi ke dalam baja. Reaksi pengkarbonan dapat dijelaskan sebagai berikut :



Gas CO₂ sebagian akan bereaksi kembali dengan media karbon membentuk CO dan sebagian lagi akan menguap. Ketersediaan oksigen yang cukup di dalam kotak dapat membantu kelancaran

reaksi pengkarbonan. Oksigen di dalam kotak tertutup membutuhkan ruang. Ketersediaan ruang-ruang tersebut berada di antara butir-butir media karbon padat yang digunakan di dalam proses *pack carburizing* (Kuswanto, 2010).

2.4 Karbon

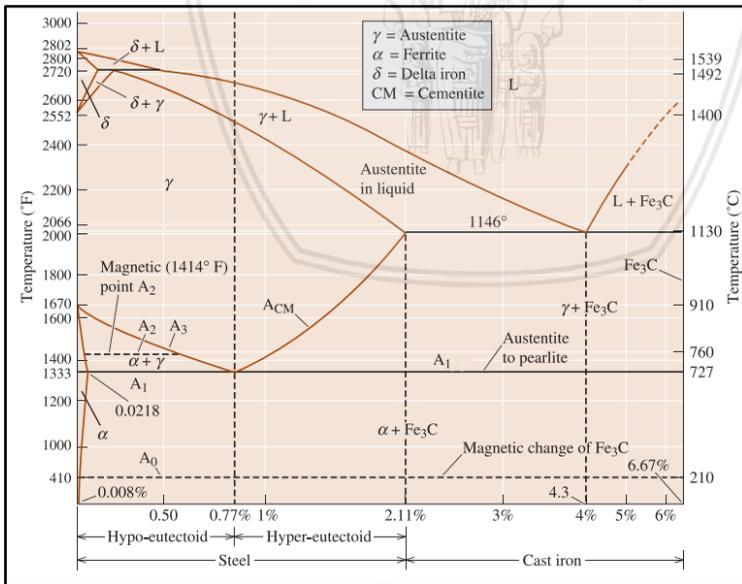
Karbon merupakan unsur paling banyak ditemukan di alam setelah hidrogen dan helium. Karbon merupakan unsur tetravalen kolom ke-4 pada tabel periodik unsur, pada padatan sering ditemui dalam bentuk ikatan tetrahedral (sp^3), heksagonal (sp^2) atau konfigurasi linier (sp), dan bahkan konfigurasi intermediet antara dua bentuk di atas (Setton dkk., 2002). Karbon memiliki simbol kimia C, yang memiliki properti sebagai nonmetal dan padatan yang berpotensi sebagai bahan pembakar. Karbon memiliki nomor atom 6, berat 12,011, jumlah proton elektron dan neutron 6, titik leleh 3.773 K, dan titik didih 5.100 K (Saucerman, 2005). Jari-jari atom karbon sebesar $r \approx 0,07$ nm. Ukuran atom karbon yang sangat kecil, membuatnya mampu masuk ke dalam atom lain seperti logam dengan cara penyisipan atom karbon di antara atom logam. Hal ini memungkinkan terjadinya difusi atom, sehingga karbon dapat dijadikan sebagai media *carburizing* (Callister dan Rethwisch, 2014).

Karbon hitam terbentuk melalui pembakaran tidak sempurna bahan bakar fosil, biofuel, dan biomassa. Bambu adalah jenis biomassa yang telah banyak dibudidayakan dan sumber daya bambu sangat berlimpah. Bambu, seperti kayu, tersusun dari hemiselulosa, selulosa dan lignin. Bambu memiliki kadar karbon dan oksigen melebihi 90% dari berat keseluruhan (Salihati dan Ardhyanta, 2013). Bambu memiliki kandungan kimia berupa kadar selulosa, lignin, pentosan, abu dan silika. Kadar selulosa berkisar 42,4% - 53,6%, kadar lignin antara 19,8% - 26,6%, kadar pentosan 1,24% - 3,77%, kadar abu 1,24% - 3,77%, kadar silika 0,10% - 1,78%. Dari sifat lignoselulosa tersebut membuktikan bahwa bambu mengandung karbon dan memiliki kriteria sebagai bahan dasar dari karbon (Krisdianto dkk., 2000). Menurut Putri (2015), pembuatan karbon berbahan dasar bambu dapat dilakukan dengan proses karbonisasi dengan suhu 500°C dan diproses selama kurang lebih satu jam. Karbon diaktifasi secara kimia dengan dicampurkan 20 gram karbon dengan 200 ml larutan Na_2CO_3 dengan konsentrasi 5%.

Telah dilakukan suatu penelitian yang memvariasikan beberapa sumber karbon pada proses *pack carburizing*. Efektifitas penggunaan karbon dari arang bambu, arang pelepah kelapa, tulang bebek dan tulang kambing sebagai sumber *carburizer* dan dievaluasi dari tingkat kekerasan dan kedalaman kekerasan yang bisa dicapai dari masing-masing karbon yang digunakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *carburizer* dengan arang bambu memiliki kandungan karbon sebesar 66,41 %C yang menghasilkan kekerasan permukaan baja kedua paling tinggi dan memberikan efektifitas kedalaman yang paling tinggi (Negara, 2016).

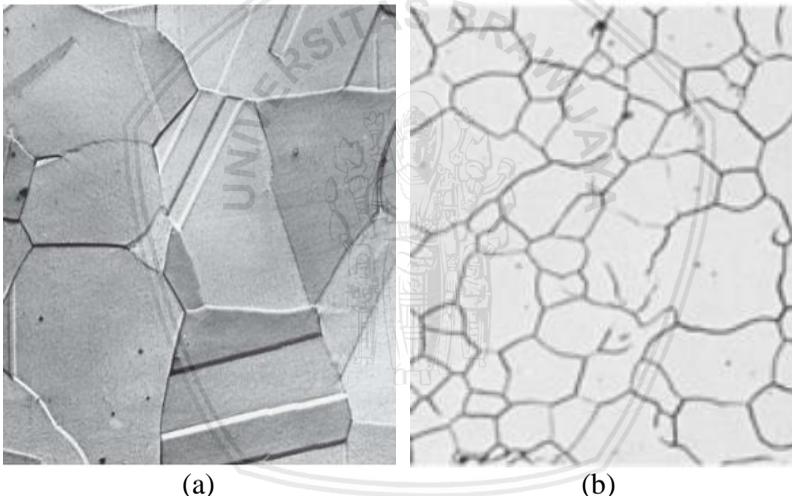
2.5 Struktur Mikro

Sifat fisik khususnya properti mekanik suatu material bergantung pada struktur mikro. Pada paduan logam, struktur mikro dicirikan oleh fase yang ada, proporsinya, dan cara penyebaran atau pengaturannya. Struktur mikro suatu paduan bergantung pada variabel-variabel seperti unsur-unsur paduan yang ada, konsentrasi, dan perlakuan panas dari paduan (yaitu, suhu, waktu pemanasan pada suhu, dan laju pendinginan sampai suhu kamar) (Callister dan Rethwisch, 2014).



Gambar 2.5 Diagram fase Fe-Fe₃C (Askeland dkk., 2009)

Pada diagram fase Fe-Fe₃C, ketika besi murni diberi perlakuan panas akan mengalami perubahan struktur kristal sebelum mencair. Pada temperatur ruang, bentuk stabil disebut sebagai ferit atau besi α dengan struktur kristal BCC. Transformasi polimorf dari ferit menuju austenit mengubah struktur kristal BCC menjadi FCC pada temperatur 912°C. Ketika temperatur dinaikkan sampai 1394°C, struktur kristal FCC akan kembali ke fase BCC yang disebut sebagai ferit δ dan akhirnya mencair pada 1538°C. Perubahan yang terjadi berada sepanjang sumbu tegak diagram fase. Sumbu komposisi dari diagram fase Fe-Fe₃C hanya sampai 6,7% berat karbon dimana pada konsentrasi tersebut terbentuk senyawa besi karbida atau sementit (Fe₃C). Semua baja memiliki kadar karbon kurang dari 6,7%. Karbon merupakan ikatan interstitial dalam besi yang dapat membentuk larutan padat yaitu α , ferit δ , dan austenit (Hadi, 2016).

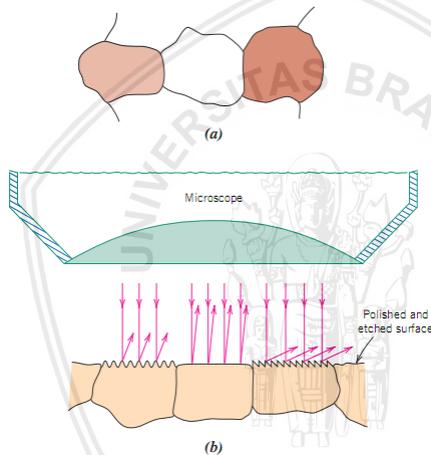


Gambar 2.6 Struktur mikro (a) Austenit 325x (Callister dan Rethwisch, 2014) dan (b) Ferit 500x (ASM International Handbook Committee, 1985)

Ferit atau besi alpha (α -Fe) merupakan suatu larutan padat karbon dalam struktur besi murni yang memiliki struktur BCC (*Body Centered Cubic*) dengan sifat lunak dan ulet. Kelarutan karbon pada fase ini relatif kecil dibandingkan dengan kelarutan pada fase larutan padat lainnya. Saat fase ferit terbentuk, kelarutan karbon dalam besi alpha hanyalah sekitar 0,02%C. Austenit atau besi gamma (γ -Fe)

merupakan larutan padat interstisi antara karbon dan besi yang memiliki struktur FCC (*Face Centered Cubic*). Kelarutan karbon pada saat berada pada fase austenit lebih besar hingga mencapai kelarutan karbon sekitar 2,14% C (Handoyo, 2015).

Mikroskop optik merupakan salah satu teknik yang dapat digunakan untuk mengamati struktur mikro material. Metalografi merupakan proses pengamatan struktur mikro dari logam dengan bantuan mikroskop optik. Sebelum diamati spesimen harus diampelas dan dipoles hingga permukaan mengkilat seperti cermin. Selanjutnya, spesimen dietsa terlebih dahulu dengan larutan kimia sesuai dengan jenis spesimennya. Batas butir pada spesimen yang terlihat bergantung pada orientasi kristalografi (Callister dan Rethwisch, 2014).



Gambar 2.7 (a) Butir hasil etsa yang terlihat pada mikroskop optik dan (b) karakteristik pantulan cahaya yang diperlihatkan pada permukaan dengan orientasi kristalografi yang berbeda (Callister dan Rethwisch, 2014)

Salah satu bidang pengamatan struktur mikro adalah pengamatan ukuran butir. Metode perhitungan ukuran butir yang umum digunakan adalah metode *intercept linear*. Ukuran butir ditentukan dengan menghitung jumlah garis potong pada batas butir di sepanjang beberapa garis uji lurus yang panjangnya sama. Panjang intercept rata-rata dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$\bar{\rho} = \frac{L_T}{PM} \quad (2.7)$$

dimana L_T = jumlah panjang seluruh garis

P = jumlah garis potong butir

M = perbesaran

Perbesaran diketahui dengan membagi panjang garis skala yang dikonversi ke dalam mikron dengan angka pada bar skala (dalam mikron). Jika perhitungan menggunakan satuan milimeter maka kemudian digunakan persamaan berikut

$$G = -6.6457 \log \bar{\rho} - 3.298 \quad (2.8)$$

Nilai G yang didapat kemudian digunakan untuk menentukan ukuran butir yang didapatkan melalui tabel perbandingan standar ASTM E112-12 (Callister dan Rethwisch, 2014).

2.6 Kekerasan

Kemampuan atom karbon untuk masuk dan menyisip kedalam atom-atom besi dalam bentuk larutan padat, menyebabkan kandungan karbon meningkat. Hal ini menyebabkan baja karbon rendah dapat ditingkatkan sifat mekaniknya menjadi lebih baik, seperti kemampuan untuk dikeraskan menjadi meningkat (Kuswanto, 2010). Kekerasan merupakan ukuran ketahanan material terhadap deformasi plastik terlokalisasi, misalnya penyok kecil atau goresan (Callister dan Rethwisch, 2014). Kemampukerasan adalah kemampuan bahan untuk dikeraskan. Kekerasan pada baja sangat dipengaruhi oleh adanya peningkatan karbon. Kekerasan maksimum pada baja dapat dicapai apabila terbentuk struktur mikro martensit 100%. Baja dengan transformasi secara lambat dari austenit menjadi ferit dan karbida akan memiliki kemampukerasan rendah dan baja yang bertransformasi secara cepat dari austenit menjadi ferit dan karbida akan memiliki kemampukerasan yang tinggi (Vlack, 1994).

Uji kekerasan merupakan pengukuran ketahanan material terhadap penetrasi permukaan material oleh benda yang keras. Salah satu metode uji kekerasan adalah *Vickers Microindentation Hardness Tests*. Pada uji *vickers* indenter piramida berlian yang sangat kecil ditekan pada permukaan spesimen. Beban yang diterapkan yaitu antara 1-1000 g. Hasil uji teramati melalui mikroskop dan diukur, pengukuran ini kemudian diubah menjadi nilai kekerasan (HV). Persiapan permukaan spesimen dengan cara pemolesan diperlukan agar lekukan bekas indenter teramati dengan baik sehingga didapatkan hasil pengukuran yang akurat. Uji kekerasan *vickers*

merupakan metode uji indentor mikro yang cocok untuk pengujian spesimen yang kecil dan tipis. Nilai kekerasan *Vickers* (*HV*) dapat ditentukan dengan rumus berikut ini :

$$HV = \frac{1.8554 P}{D^2} \quad (2.9)$$

dimana *HV* adalah angka kekerasan Vickers, *D* adalah diagonal dan *P* adalah beban dalam kgf (Callister dan Rethwisch, 2014).



Gambar 2.8 Bentuk indentor uji *vickers microhardness* (a) tampilan samping (b) tampilan atas (Callister dan Rethwisch, 2014)

Uji kekerasan dilakukan lebih sering daripada pengujian mekanis lainnya karena beberapa alasan. Pertama, sederhana dan murah, tidak perlu perlakuan khusus terhadap spesimen dan alat tes relatif tidak mahal. Kedua, tes ini tidak merusak spesimen sehingga tidak menimbulkan retakan atau tidak terjadi kerusakan yang terlalu berlebihan, hanya terdapat lekukan kecil yang merupakan satu-satunya deformasi akibat proses pengujian. Ketiga, sifat mekanis lainnya dapat dikonversi dari data kekerasan, seperti kekuatan tarik (Callister dan Rethwisch, 2014).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2017 sampai dengan bulan Maret 2018. Penelitian ini bertempat di Laboratorium Fisika Material FMIPA UB, Laboratorium Material Maju dan Plasma Jurusan Fisika FMIPA UB, Laboratorium Biofisika Jurusan Fisika FMIPA UB, Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UB, dan Departemen Mutu Divisi Munisi PT. Pindad (Persero) Turen.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pemotong logam Fasti-Werk 5632, *ultrasonic cleaner serial no: 0212016219*, mesin pemanas tipe KI.2.51.015, *magnetic stirrer* tipe Cole-Parmer, tanur tipe L471, loyang, bak instrumen, baut dan mur, aluminium foil, gelas beker, spatula, pinset, klem penjepit, kertas gosok nomor 100, 320, 500, 1000, 2000, dan 5000, *hairdryer*, mortar, saringan 150 mesh, plastik ziplock, masker, *gloves*, pipet tetes, kertas pH, kertas saring, gunting, sikat baja, kertas label, tisu, *micro vickers hardness tester TH712*, mikroskop optik Olympus BX51, dan *Spectrometer Arc* Metorex Arc.met 8000.

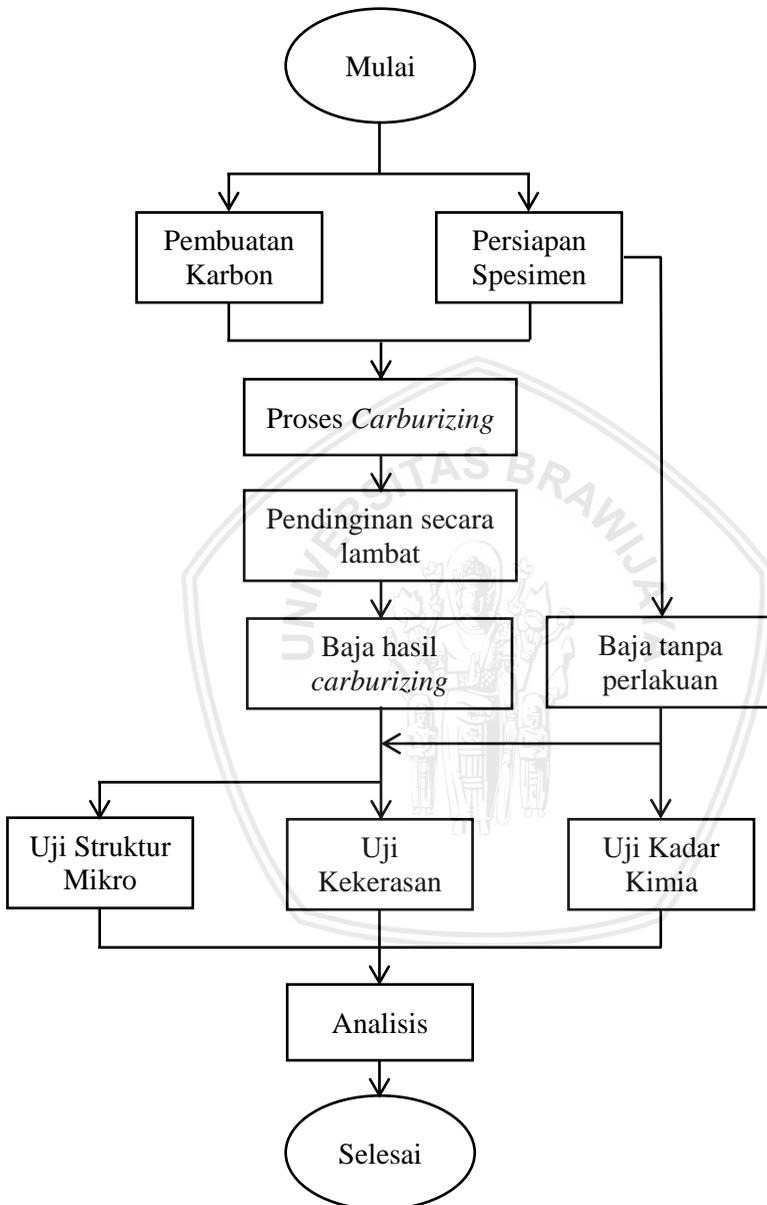
Bahan-bahan yang digunakan adalah baja AISI 316L, bambu, akuades, larutan basa berupa sabun sunlight, larutan Na_2CO_3 5%, HCl 37%, HNO_3 , clay, resin, dan autosol.

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan melalui beberapa prosedur sebagai berikut:

1. Persiapan spesimen AISI 316L
2. Pembuatan karbon
3. Proses *carburizing*
4. Pengujian kadar kimia spesimen tanpa perlakuan
5. Pengujian struktur mikro
6. Pengujian kekerasan
7. Analisis

Diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.3.1 Persiapan Spesimen

Lembaran plat baja tahan karat AISI 316L setebal 1 mm dipotong menjadi ukuran 2 cm x 2 cm menggunakan pemotong logam. Ujung runcing sisa pemotongan pada sisi baja diampelas hingga rata dengan menggunakan kertas gosok ukuran 320. Baja dicuci di dalam larutan sabun berkonsentrasi rendah kemudian dicuci kembali ke dalam akuades dengan menggunakan *ultrasonic cleaner* hingga bersih. Kemudian baja segera dikeringkan dengan menggunakan *hairdryer*.

3.3.2 Pembuatan Karbon

A. Persiapan Bahan

Bambu dipotong menjadi ukuran lebih kecil sekitar 15 cm x 3 cm agar muat ketika dimasukkan ke dalam bak instrumen. Bambu dijemur secara langsung di bawah sinar matahari selama 3 hari dan kemudian dioven untuk mengurangi kadar air di dalam bambu agar menjadi kering.

B. Proses Karbonisasi

Proses karbonisasi dilakukan dengan metode pirolisis. Pada proses karbonisasi bambu kering dibungkus dengan menggunakan *aluminium foil* sebanyak 3 lapis dan dimasukkan ke dalam bak instrumen agar terisolasi dari udara. Kemudian bak instrumen dimasukkan ke dalam tanur dan diproses pada suhu 500°C selama 1 jam.



Gambar 3.2 Arang bambu hasil proses karbonisasi

C. Pembuatan Bubuk Karbon

Bambu yang telah menjadi arang selanjutnya dihaluskan dengan ditumbuk menggunakan mortar. Arang bambu yang telah halus kemudian disaring dengan menggunakan saringan berukuran 150 mesh.

D. Pemurnian Karbon

Pemurnian karbon dilakukan secara kimia. Serbuk arang bambu direndam ke dalam larutan Na_2CO_3 5% selama 24 jam dengan perbandingan 20 gram arang untuk 200 ml larutan. Hal ini bertujuan untuk membersihkan arang bambu dari zat pengotor dan materi lain sehingga didapatkan karbon yang murni. Setelah 24 jam rendaman arang disaring dan diukur pHnya dengan menggunakan kertas pH. Kemudian arang dinetralkan dengan dicampur akuades dan diproses dengan menggunakan *magnetic stirrer*. Arang bambu yang telah netral kemudian diendapkan dengan cara disaring. Endapan arang dikeringkan untuk menghilangkan kadar air dalam karbon. Proses pengeringan dilakukan dengan menggunakan oven pada suhu 120°C sehingga terbentuk karbon murni dan kering. Karbon yang telah murni dan siap pakai disimpan ke dalam palstik ziplock.



Gambar 3.3 Karbon yang mengalami proses penetralkan dengan diaduk menggunakan *magnetic stirrer*

3.3.3 Proses *Carburizing*

Baja tahan karat AISI 316L dimasukkan ke dalam media karbon hingga seluruh permukaan sampel tertutupi oleh karbon dan dibungkus dengan menggunakan *aluminium foil*. Baja yang telah terbungkus dimasukkan ke dalam bak instrumen dan ditutup rapat. Pada mulut bak instrumen ditutup dengan clay dan di mur dengan rapat untuk meminimalisir adanya udara yang masuk selama proses *carburizing*. Bak instrumen yang telah berisi sampel kemudian dimasukkan ke dalam tanur tipe L471 untuk dipanaskan. Proses pemanasan dilakukan secara bertingkat pada suhu 400°C, 500°C, dan 600°C dengan variasi waktu tahan 12 jam, 16 jam, 20 jam, dan 24 jam yang secara rinci dijelaskan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Rincian perlakuan sampel pada proses *carburizing*

Suhu (°C)	Waktu (jam)	Bak Instrumen ke	Jumlah spesimen
400	12	I	2
	16	II	2
	20	III	2
	24	IV	2
500	12	I	2
	16	II	2
	20	III	2
	24	IV	2
600	12	I	2
	16	II	2
	20	III	2
	24	IV	2

Selanjutnya dilakukan proses pendinginan secara perlahan pada suhu ruang. Kemudian sampel dikeluarkan dari bak instrumen dan disimpan pada suatu wadah tertutup agar meminimalisir kontak dengan udara dan pengotor lain.



Gambar 3.4 Bak instrumen yang dimasukkan ke dalam tanur tipe L471

3.3.4 Pengujian

A. Uji Kadar Kimia

Komposisi kimia baja tahan karat AISI 316L tanpa perlakuan diukur dengan menggunakan *Spectrometer Arc Metorex Arc.met 8000*. Prinsip kerja dari alat uji ini adalah dengan pembakaran. Permukaan spesimen ditembak dengan elektroda yang mengalirkan suatu tegangan tinggi sehingga permukaan spesimen terbakar. Sebelum proses pembakaran pada spesimen dialiri gas argon untuk mensterilkan spesimen dari debu dan pengotor. Pijaran hasil pembakaran menghasilkan panjang gelombang tertentu yang kemudian ditangkap oleh sensor dan diolah sehingga dapat diketahui unsur kimia yang terkandung.



Gambar 3.5 *Spectrometer Arc Metorex Arc.met 8000*

Pada proses pengujian, permukaan baja digosok terlebih dahulu dengan kertas gosok ukuran 40 dengan bantuan *polishing machine*. Hal ini dilakukan agar terbentuk permukaan yang kasar sehingga pembakaran pada proses pengujian lebih sempurna. Kemudian permukaan spesimen yang telah kasar diletakkan pada ujung penembak dan setelah proses pembakaran dimulai, hasil kandungan unsur kimia akan ditampilkan pada monitor.

B. Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan pada permukaan baja dapat dilakukan dengan *Micro Vickers Hardness Tester* tipe TH712. Pengujian ini menggunakan indenter berbentuk piramida yang terbuat dari intan yang sangat kecil. Alat ini menggunakan sistem digital dan terhubung dengan kamera sehingga posisi pengujian dapat dikontrol, panjang bekas indenter dan nilai kekerasan dapat ditampilkan secara langsung.

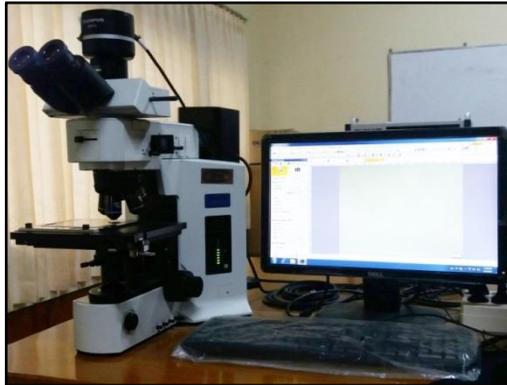


Gambar 3.6 *Micro Vickers Hardness Tester TH712*

Pada proses pengujian, permukaan baja digosok terlebih dahulu dengan menggunakan autosol agar permukaan lebih mengkilap. Hal ini dilakukan agar bekas indenter terlihat lebih jelas pada monitor dan tingkat akurasi dan presisi pengujian lebih baik. Baja diletakkan pada meja spesimen kemudian indenter diarahkan pada permukaan baja yang ingin diuji. Baja ditekan menggunakan indenter dengan gaya tekan sebesar 0,5 N selama 15 detik. Panjang bekas indenter diukur dan hasil nilai kekerasan akan tertera pada monitor.

C. Uji Struktur Mikro

Struktur mikro suatu material dapat diamati dengan menggunakan mikroskop optik. Salah satu tipe mikroskop optik yang dapat digunakan dalam pengujian adalah Olympus BX51 yang memiliki perbesaran objektif 5x, 10x, 20x, 50x dan 100x. Alat ini terintegrasi dengan kamera dan program *cellsens imaging software* sehingga penggunaan alat lebih mudah dikontrol.



Gambar 3.7 Mikroskop Optik Olympus BX51

Proses etsa dilakukan pada baja dalam pengujian struktur mikro. Pada permukaan baja yang akan diamati dilakukan proses pemolesan dengan menggunakan kertas gosok ukuran 500, 1000, 2000, 5000 dan dilanjutkan dengan pemolesan menggunakan autosol. Hal ini dilakukan agar didapatkan permukaan yang mengkilat sehingga struktur mikro dapat teramati dengan jelas. Pada pengamatan struktur mikro secara *cross section* sebelum proses pemolesan dilakukan proses *mounting*. Baja diletakkan secara vertikal dan dimasukkan ke dalam cetakan yang telah berisi resin.



Gambar 3.8 Proses *mounting*

Baja yang telah mengkilat kemudian dicuci dengan akuades dan segera dikeringkan dengan *hairdryer*. Larutan etsa dibuat dengan mencampurkan HCl 37%, HNO₃, dan akuades dengan perbandingan 2:1:1. Proses pengetsaan dilakukan dengan merendam permukaan baja ke dalam larutan etsa selama 90 detik. Kemudian baja dicuci

dengan akuades dan dikeringkan dengan *hairdryer*. Selanjutnya dilakukan proses pengujian dengan menggunakan mikroskop optik. Alat uji dinyalakan dan program *cell stand* dibuka. Pencahayaan pada mikroskop diatur pada intensitas yang cukup rendah agar permukaan baja lebih mudah teramati. Perbesaran yang digunakan pada pengujian ini adalah 200x untuk pengujian secara *cross section* dan 500x pada pengujian bagian permukaan.



BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan suatu rekayasa permukaan menggunakan metode *pack carburizing* yang merupakan penambahan karbon pada permukaan suatu baja. Karbon yang digunakan biasanya dibuat dari berbagai macam bahan dasar yang memiliki kandungan karbon tinggi, seperti batu bara, tempurung kelapa, limbah pinus dan kayu. Pada penelitian karbon yang digunakan berasal dari arang bambu. Bambu memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi sekitar 66,41% sehingga cocok sebagai sumber karbon dalam proses *pack carburizing*. Pada penelitian Negara (2016), karbon yang bersumber dari arang bambu mampu meningkatkan kekerasan permukaan cukup tinggi dan semakin ke inti menghasilkan kekerasan dan kedalaman paling tinggi dari sumber karbon lainnya.

Tabel 4.1 Komposisi kimia baja tahan karat AISI 316L

Unsur	Kadar (%) hasil uji	Kadar (%) literatur
Fe	69,85	65
C	0,031	0,03
Si	0,427	1
Mn	1,019	2
Cr	15,96	17
Ni	9,832	12
Mo	2,832	2,5
Cu	0,521	-
V	0,116	-
W	0,002	-
Ti	0,006	-
Co	0,125	-
S	0,017	0,03
P	0,029	0,045

Spesimen yang dikeraskan permukaannya pada penelitian ini adalah baja tahan karat AISI 316L. Pada proses awal penelitian

dilakukan uji komposisi pada baja tanpa perlakuan menggunakan spektrometer Arc yang hasilnya disajikan pada Tabel 4.1. Pada tabel diketahui bahwa spesimen mengandung karbon sebesar 0,031% dengan unsur paduan utama Cr dan Ni, serta terdapat beberapa unsur lain seperti Si, Mn, Mo dan lain sebagainya. Apabila dibandingkan dengan literatur, komposisi baja tidak jauh berbeda. Hasil uji komposisi dapat membuktikan bahwa spesimen yang digunakan benar-benar merupakan baja tahan karat AISI 316L yang tergolong baja rendah yang memiliki sifat tahan karat dengan fase austenit.

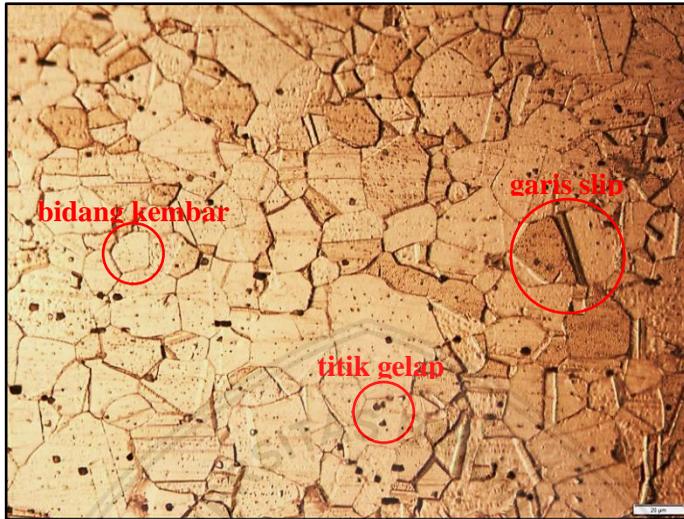
Berdasarkan kadar karbon yang dikandung maka spesimen yang digunakan tergolong dalam baja karbon rendah, yang tidak dapat dikeraskan secara langsung. Pada proses modifikasi baja AISI 316L perlu dilakukan proses penambahan unsur karbon agar jumlah kandungannya meningkat. Proses penambahan karbon ke dalam spesimen dilakukan secara difusi. Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah *pack carburizing* menggunakan sumber karbon arang bambu yang diproses pada suhu 400°C, 500°C, 600°C selama 12 jam, 16 jam, 20 jam, dan 24 jam.

Metode pemrosesan, struktur, dan properti suatu bahan memiliki hubungan yang saling berkaitan. Penyusunan komponen internal dari suatu bahan akan berpengaruh terhadap properti yang akan dimiliki suatu bahan. Penyusunan struktur suatu bahan bergantung pada bagaimana bahan tersebut diproses. Seperti pada penelitian ini, proses *pack carburizing* akan berpengaruh terhadap struktur dan kekerasan dari baja tahan karat AISI 316L yang selanjutnya akan dibahas lebih lanjut pada sub bab berikut.

4.1. Pengaruh Suhu dan Waktu Tahan terhadap Struktur Mikro Baja Tahan Karat AISI 316L

Baja tahan karat AISI 316L yang telah diproses maupun yang tanpa perlakuan dilakukan uji struktur mikro pada bagian permukaan dengan cara dilakukan pengamatan bentuk menggunakan mikroskop optik. Hasil uji struktur mikro baja tahan karat AISI 316L tanpa perlakuan disajikan pada Gambar 4.1. Apabila diamati struktur mikro yang nampak sesuai dengan struktur mikro austenit pada Gambar 2.7 yang menunjukkan adanya butir austenit dengan ciri-ciri adanya bidang kembar dan garis slip. Karakteristik ini juga muncul pada

struktur mikro baja tahan karat AISI 316L tanpa perlakuan dan juga terdapat beberapa titik gelap yang menyebar pada struktur baja.



Gambar 4.1 Struktur mikro baja tahan karat AISI 316L tanpa perlakuan (500x)

Bidang kembar adalah tipe khusus batas butir yang memiliki kisi bayangan simetri sehingga atom-atom pada satu sisi batas ditempatkan pada posisi bayangan cermin dengan posisi atom di sisi lain (Callister dan Rethwisch, 2014). Bidang ini dihasilkan ketika gaya geser menyebabkan atom bergeser keluar dari posisi yang terjadi selama deformasi atau perlakuan panas pada suatu logam. Batas-batas kembar mengganggu proses slip dan meningkatkan kekuatan logam (Askeland dkk., 2009).

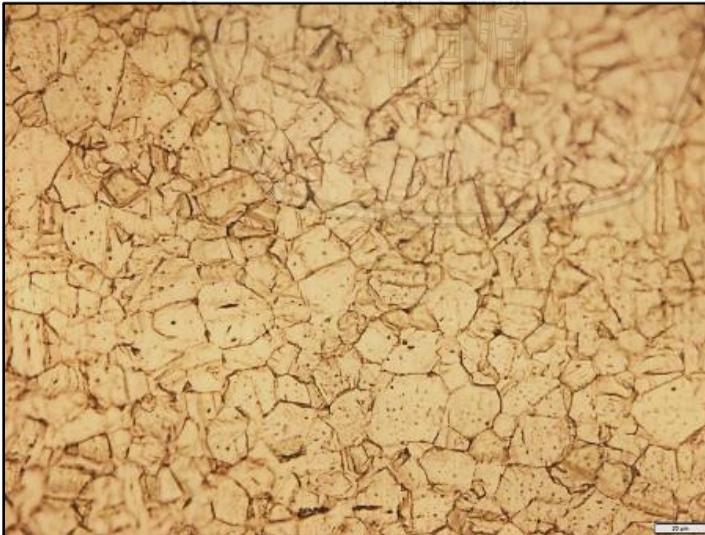
Titik gelap yang menyebar pada struktur baja merupakan void. Void adalah cacat volume dalam material dimana sejumlah atom menghilang dari kisi kristal. Cacat volum ini dapat muncul karena hasil fabrikasi maupun pemrosesan (Fiawoyife, 2012). Cacat volume ini berpotensi sebagai tempat perambatan retak (Zavateri & Espinosa, 2001). Potensi retakan akan membuat suatu bahan akan mudah terdeformasi apabila dikenai suatu beban. Hal ini dapat menyebabkan buruknya properti mekanis dari suatu bahan. Namun, void tidak selalu muncul dalam setiap proses, sehingga

keberadaannya sulit untuk dikontrol dan dapat menimbulkan suatu anomali.

Baja hasil *carburizing* juga menunjukkan beberapa karakteristik struktur mikro yang sama dengan baja tanpa perlakuan. Struktur mikro permukaan baja hasil *carburizing* disajikan pada gambar berikut.



(a) Waktu tahan 12 jam



(b) Waktu tahan 16 jam



(c) Waktu tahan 20 jam



(d) Waktu tahan 24 jam

Gambar 4.2 Struktur mikro permukaan baja AISI 316L hasil *carburizing* pada suhu 400°C (500x)

Berdasarkan Gambar 4.2 struktur mikro permukaan baja AISI 316L hasil *carburizing* pada suhu 400°C masih memperlihatkan struktur yang sama dengan baja tanpa perlakuan. Struktur mikro

permukaan baja memiliki butir austenit dengan bidang kembar dan garis slip. Kenaikan waktu juga tidak menghasilkan perbedaan struktur mikro pada baja tahan karat AISI 316L. Hal ini mengindikasikan bahwa masih sedikit sekali atom karbon yang berhasil berdifusi ke dalam baja.

Struktur mikro permukaan baja AISI 316L hasil *carburizing* pada suhu 500°C ditunjukkan pada Gambar 4.3. Terdapat butir austenit dengan bidang kembar dan garis slip, sehingga struktur mikro baja masih sama dengan struktur mikro baja AISI 316L tanpa perlakuan dan hasil *carburizing* suhu 400°C. Jika sejumlah besar atom harus berdifusi, waktu yang lebih lama diperlukan. Pada suhu 500°C dan 400°C dapat terjadi transformasi fase melalui peningkatan difusi karbon apabila waktu tahan ditingkatkan di atas 24 jam.



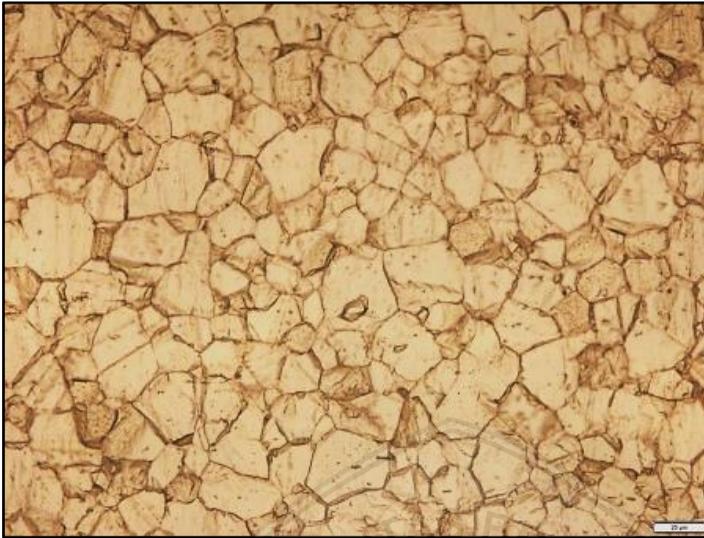
(a) Waktu tahan 12 jam



(b) Waktu tahan 16 jam



(c) Waktu tahan 20 jam

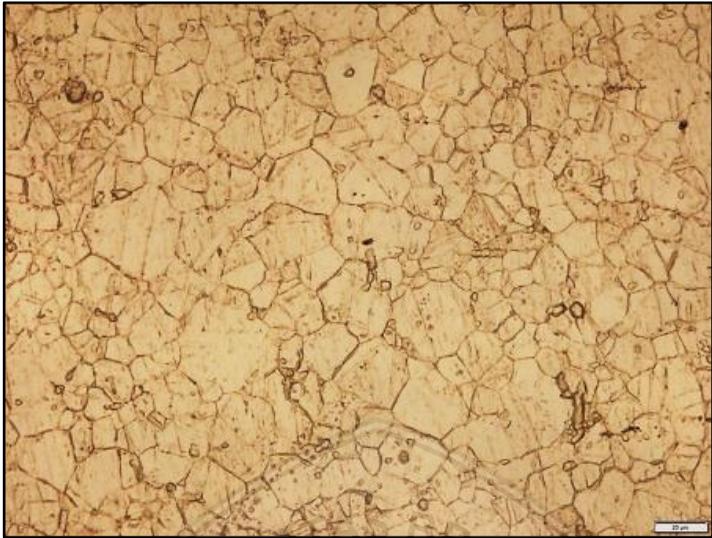


(d) Waktu tahan 24 jam

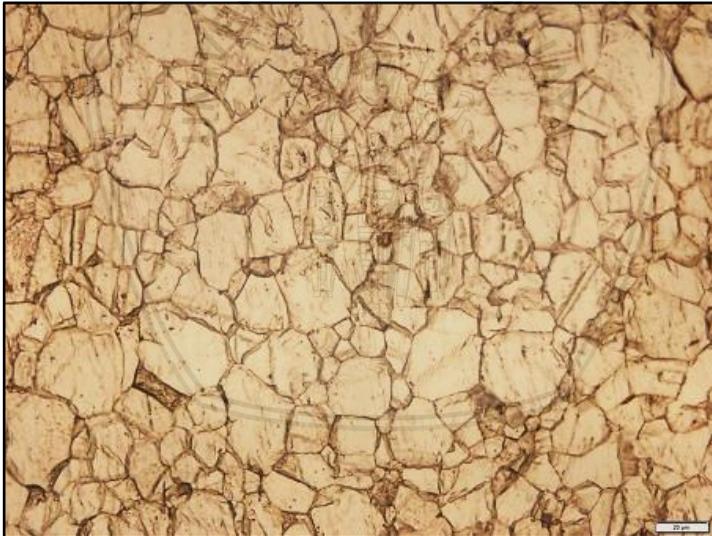
Gambar 4.3 Struktur mikro permukaan baja AISI 316L hasil *carburizing* pada suhu 500°C (500x)

Struktur mikro baja tahan karat AISI 316L hasil *carburizing* pada suhu 400°C dan 500°C belum mengalami perubahan karena masih sedikit atom karbon yang berhasil berdifusi. Permukaan baja tahan karat AISI 316L akan membentuk lapisan penghalang berupa Cr_2O_3 apabila bersinggungan dengan oksigen, karena sifat tahan karatnya akibat kandungan Cr yang tinggi pada baja AISI 316L. Lapisan Cr_2O_3 berperan sebagai lapisan pasif dan bertindak sebagai penghalang yang menghambat proses difusi karbon ke dalam matriks permukaan baja. Hal ini menunjukkan bahwa energi termal yang dihasilkan pada ke dua suhu tersebut masih sulit untuk menembus lapisan penghalang ini. Sehingga gas CO yang terbentuk pada proses *carburizing* sulit untuk bereaksi dengan permukaan baja dan hanya sedikit atom karbon yang masuk.

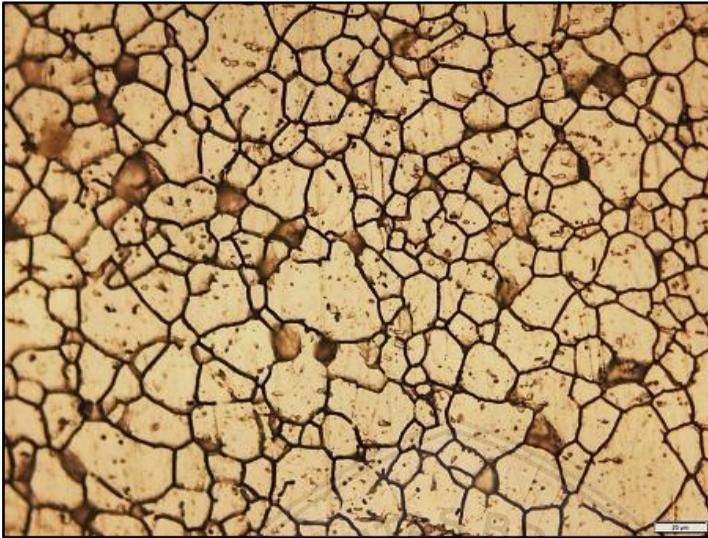
Perubahan struktur mikro mulai terjadi pada permukaan baja tahan karat AISI 316L hasil *carburizing* pada suhu 600°C. Hal ini dapat diamati pada Gambar 4.4.



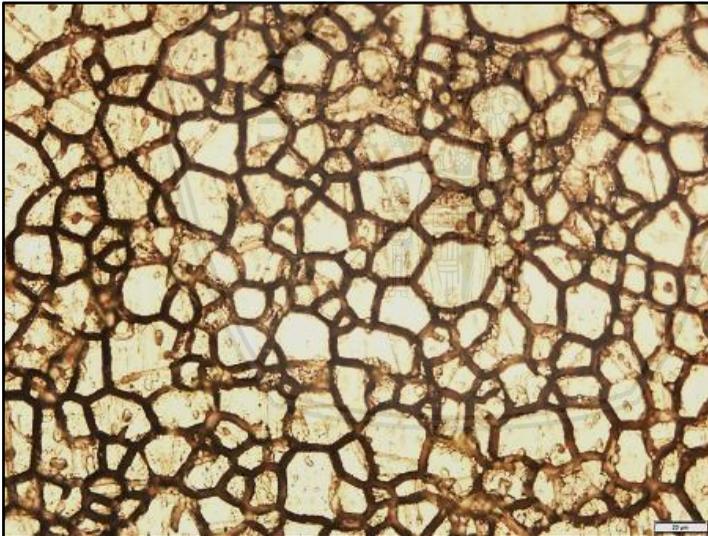
(a) Waktu tahan 12 jam



(b) Waktu tahan 16 jam



(c) Waktu tahan 20 jam



(d) Waktu tahan 24 jam

Gambar 4.4 Struktur mikro permukaan baja AISI 316L hasil *carburizing* pada suhu 600°C (500x)

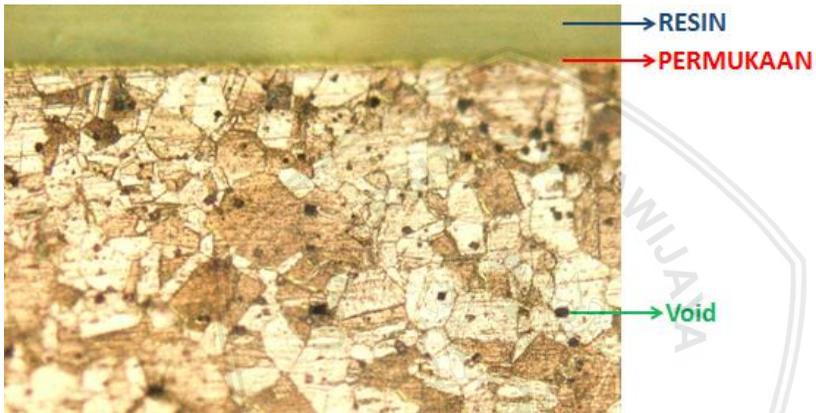
Terlihat pada Gambar 4.4 pada baja AISI 316L hasil *carburizing* pada suhu 600°C dengan waktu tahan 12 jam dan 16 jam belum terjadi transformasi fase, yang ditandai dengan masih adanya butir

austenit dengan bidang kembar dan garis slip. Selanjutnya pada baja hasil *carburizing* dengan waktu tahan selama 20 jam dan 24 jam telah menghasilkan perubahan fase. Butir austenit berubah menjadi ferit dengan sedikit bidang kembar dan terdapat interstisi karbon pada batas butir yang ditandai dengan alur gelap yang tebal di sepanjang batas butir. Menurut Hartono (2015), tumbuhnya sementit diperlukan sejumlah besar karbon yang juga diperoleh dari austenit sekitarnya. Sehingga austenit sekitarnya miskin karbon dan menjadi ferit. Hal ini dapat menjelaskan bagaimana austenit dapat bertransformasi fase menjadi ferit. Interstisi karbon pada batas butir dapat dimungkinkan menjadi besi karbida (sementit) atau karbida lain. Ketika dipanaskan atom baja akan bergetar lebih cepat sehingga ruang interstisi menjadi lebih lebar dan atom karbon juga mendapat energi untuk bergerak bebas ketika dipanaskan sehingga atom karbon akan menyisip masuk ke dalam ruang interstisi. Suatu saat atom yang berdifusi akan melewati batas kelarutan FCC (*Face-Centered Cubic*) sehingga ketika didinginkan secara lambat terjadi perubahan fase dari austenit ke ferit yang mempunyai sel satuan BCC dengan daya larut karbon hanya 0,02%. Ketika didinginkan secara lambat ruang interstisi pada kisi FCC akan menyusut, sehingga sejumlah atom karbon yang melewati batas kelarutan FCC akan cenderung keluar dari kisi FCC. Kisi FCC akan miskin karbon sehingga perubahan ke sel BCC berjalan dengan baik. Karbon yang keluar dari kisi FCC akan menuju batas butir. Selain itu, banyaknya interstisi atom karbon pada batas butir juga disebabkan oleh difusi yang cenderung terjadi lebih cepat pada batas butir dibandingkan pada butir karena batas butir merupakan daeran transisi yang memiliki ruang intersisi karbon yang lebih luas.

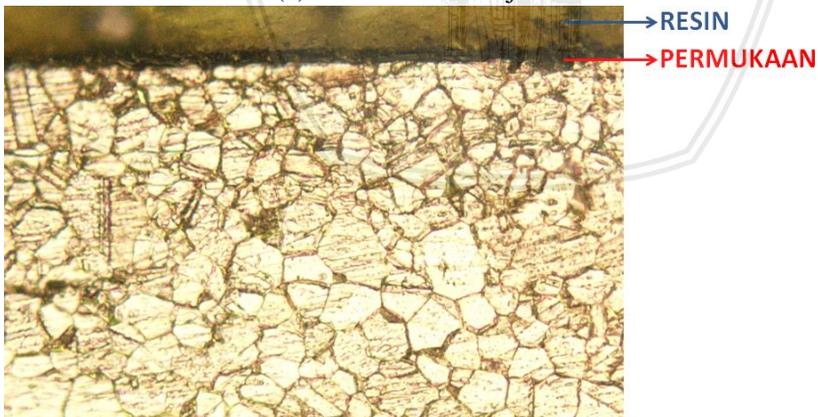
Terjadinya transformasi fase dan adanya interstisi karbon pada batas butir mengindikasikan telah berhasilnya difusi atom karbon ke dalam permukaan baja. Pada suhu 600°C atom karbon telah memiliki cukup energi untuk menembus lapisan Cr_2O_3 . Atom karbon akan bergetar dengan energi yang tinggi sehingga memiliki pergerakan yang bebas. Atom yang bergerak bebas memiliki ikatan antar atom yang lemah sehingga atom-atom karbon bebas masuk dan menyisip di antara atom-atom pada baja dan berpindah dalam kisi mengisi bagian interstisi. Energi tersebut diperoleh dari suhu pemanasan. Berdasarkan persamaan Arrhenius (Persamaan 2.1) suhu pemanasan yang semakin tinggi menghasilkan koefisien difusi yang lebih tinggi

sehingga fluks difusi juga akan meningkat yang dijelaskan pada hukum pertama Fick pada Persamaan 2.2.

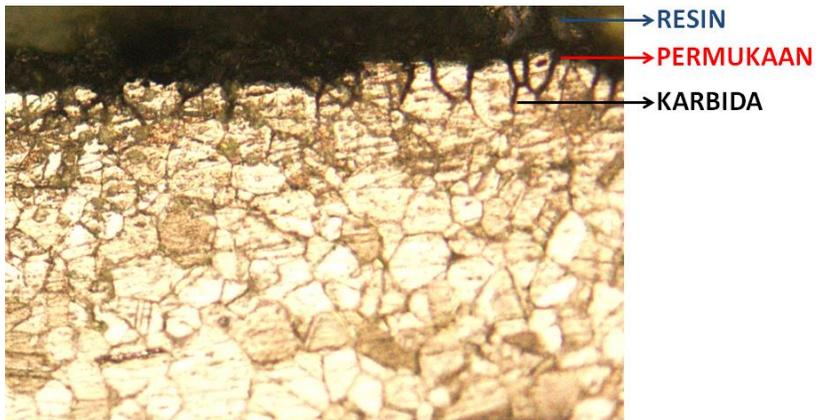
Difusi atom karbon pada permukaan baja yang terbentuk selama proses *carburizing* lebih mudah teramati apabila dilakukan uji struktur mikro secara *cross section*. Pada uji struktur mikro secara *cross section* akan lebih mudah teramati seberapa dalam difusi atom pada permukaan dan juga dapat teramati keseragaman difusi di setiap titik pada permukaan baja AISI 316L. Oleh karena itu pada penelitian ini juga dilakukan pengamatan struktur mikro secara *cross section* yang ditampilkan pada Gambar 4.5.



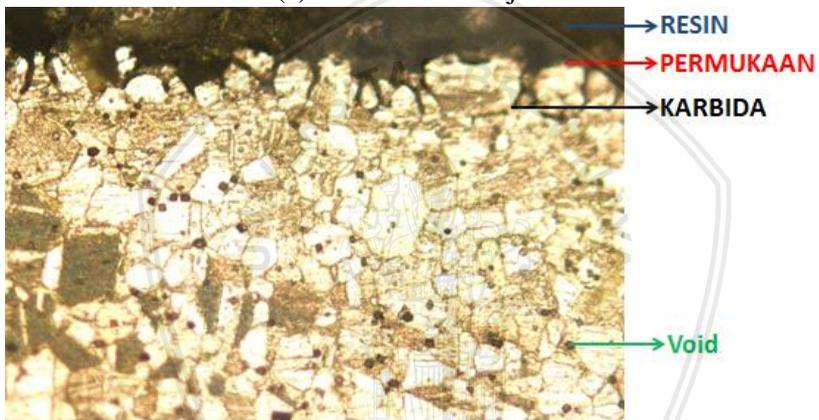
(a) Waktu tahan 12 jam



(b) Waktu tahan 16 jam



(c) Waktu tahan 20 jam



(d) Waktu tahan 24 jam

Gambar 4.5 Struktur mikro pada baja AISI 316L hasil *carburizing* pada suhu 600°C bagian *cross section* (200x)

Berdasarkan hasil pengamatan struktur mikro secara *cross section* pada waktu tahan 12 jam dan 16 jam belum terbentuk interstisi karbon pada batas butir bagian permukaan. Hal ini bersesuaian dengan hasil struktur mikro pada permukaan yang dihasilkan. Interstisi karbon pada batas butir mulai terbentuk pada baja tahan karat AISI 316L yang diproses dengan waktu tahan 20 jam dan 24 jam. Interstisi karbon pada batas butir ditandai dengan adanya jalur gelap di sepanjang batas butir pada sekitar permukaan luar baja, di mana pada waktu tahan 20 jam menghasilkan kedalaman rata-rata lapisan interstisi karbon sedalam 21,8 μm dan 24,1 μm pada

repository.ub.ac.id

waktu tahan 24 jam. Hal ini sesuai dengan hukum kedua Fick (persamaan 2.3) yang menyatakan bahwa fluks difusi (J) dan gradient konsentrasi berubah terhadap waktu dalam daerah tertentu sehingga banyaknya atom yang berdifusi merupakan fungsi waktu. Selain itu, berdasarkan turunan dari hukum kedua Fick diketahui bahwa kedalaman difusi proporsional terhadap akar waktu, sehingga apabila sejumlah atom didifusikan untuk menghasilkan struktur yang seragam maka dibutuhkan waktu yang panjang. Pada Gambar 4.5 teramati bahwa kedalaman interstisi karbon pada batas butir di sepanjang permukaan baja tidak seragam. Fluks difusi merupakan laju transfer massa melewati suatu penampang luas tertentu. Laju merupakan besaran skalar sehingga tidak tergantung arah. Hal ini menyebabkan difusi berjalan secara acak sehingga pada baja hasil *carburizing* di hasilkan kedalaman difusi yang tidak seragam disepanjang permukaan. Selain kedalaman difusi, pada struktur mikro baja tahan karat AISI 316L hasil uji *cross section* juga teramati adanya void pada beberapa spesimen, yaitu pada baja hasil *carburizing* dengan waktu tahan selama 12 jam dan 24 jam. Void yang merupakan potensi retak pada suatu bahan ditandai dengan titik gelap kecil yang menyebar pada struktur mikro. Adanya void pada struktur baja hasil *carburizing* dapat menurunkan properti mekanis yang dihasilkan.

Berdasarkan hasil uji struktur mikro, selain dapat diamati fase yang terbentuk juga dapat dicari ukuran butir dari struktur mikro baja tahan karat AISI 316L. Ukuran butir berpengaruh terhadap properti mekanis suatu bahan. Sebuah logam yang memiliki ukuran butir kecil lebih kuat dari logam dengan ukuran butir besar, karena ukuran butir yang kecil akan memiliki jumlah butir yang lebih banyak sehingga juga akan memiliki lebih banyak area batas butir. Banyaknya area batas butir mengakibatkan lebih banyak hambatan gerak dislokasi, sehingga logam akan lebih keras. Ukuran butir suatu bahan dapat berubah melalui mekanisme pertumbuhan butir yaitu peningkatan ukuran butir rata-rata bahan polikristalin dengan gerakan batas butir. Butir yang besar tumbuh karena butir kecil yang menyusut, akibat adanya migrasi batas butir. Pergerakan ini merupakan difusi jarak pendek atom logam dari satu sisi batas ke sisi lainnya, sehingga perlu energi besar untuk menggerakkan atom tersebut.

Pada penelitian ini digunakan metode *intercep linier* untuk menghitung diameter rata-rata butir. Hasil yang didapatkan tidak

terjadi perubahan diameter rata-rata untuk semua butir baja, baik yang diberi perlakuan maupun tanpa perlakuan. Diameter butir rata-rata yang diperoleh adalah $15,9 \mu\text{m}$. Tidak terjadinya perubahan pada ukuran butir dikarenakan suhu yang digunakan masih tergolong rendah yaitu suhu dimana atom logam *immobile* namun atom karbon masih dapat berdifusi di celah antar atom logam. Suhu yang digunakan belum cukup tinggi untuk membuat atom logam berdifusi ke batas butir yang lain sehingga mekanisme pertumbuhan butir tidak terjadi.

4.2. Pengaruh Suhu dan Waktu Tahan terhadap Kekerasan Permukaan Baja Tahan Karat AISI 316L

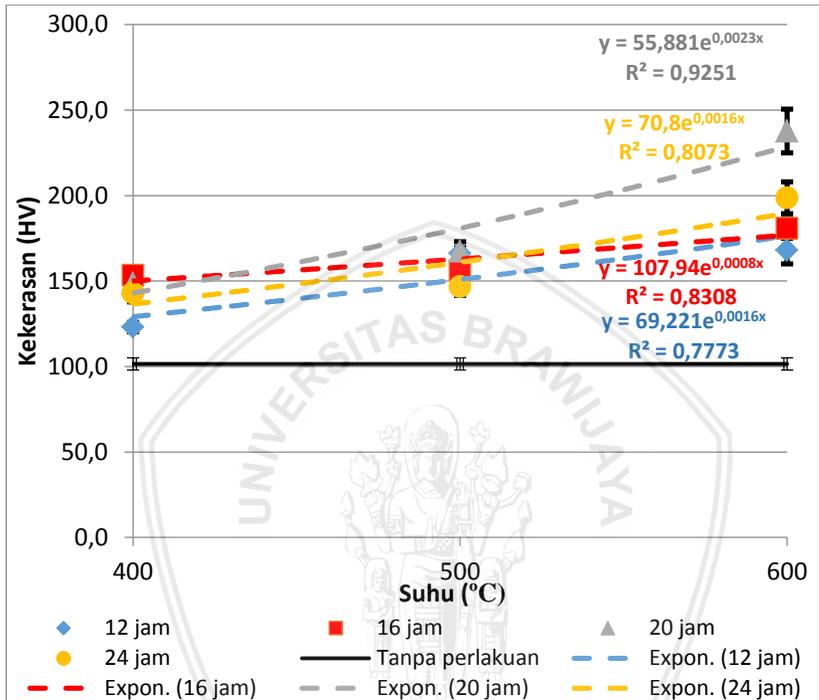
Proses *pack carburizing* akan berpengaruh pada kekerasan permukaan baja. Kekerasan pada permukaan baja tahan karat AISI 316L hasil *carburizing* dan tanpa perlakuan diuji dengan menggunakan *micro vickers hardness tester*. Hasil yang diperoleh dari pengujian untuk permukaan baja tanpa perlakuan adalah $101,5 \text{HV}_{0,5}$. Seluruh baja hasil *carburizing* dengan variasi suhu maupun waktu menunjukkan kenaikan nilai kekerasan pada permukaan bila dibandingkan nilai kekerasan permukaan yang dimiliki oleh baja tanpa perlakuan, dimana persen kenaikannya ditunjukkan pada Tabel 4.2. Naiknya nilai kekerasan pada permukaan baja mengindikasikan adanya atom karbon yang terdifusi ke dalam baja. Karbon-karbon yang telah mengisi bagian interstisi menghambat dislokasi ketika baja dikenai beban. Pada baja yang memiliki butir ferit yaitu baja hasil *carburizing* pada suhu 600°C selama 20 jam dan 24 jam menunjukkan nilai kekerasan permukaan yang sangat tinggi, meskipun nilai kekerasan struktur austenit lebih tinggi dari pada fase ferit. Hal ini disebabkan oleh adanya interstisi karbon di sepanjang batas butir permukaan baja. Pergerakan dislokasi terjadi pada batas butir yang berperan sebagai penghalang pergerakan dislokasi. Ketika dislokasi mengenai batas butir menghasilkan konsentrasi tekanan pada bidang slip yang dapat ditahan oleh karbon yang sifatnya keras.

Tabel 4.2 Persen kenaikan nilai kekerasan permukaan baja tahan karat AISI 316L hasil *carburizing*

Suhu	Waktu	Rata-rata	Persen kenaikan
400	12	123,1	21,2
	16	153,3	51,0
	20	148,6	46,4
	24	143,0	40,9
500	12	166,2	63,7
	16	156,1	53,8
	20	167,4	64,9
	24	146,7	44,5
600	12	168,1	65,6
	16	180,7	78,1
	20	237,7	134,2
	24	198,7	95,7

Pengaruh suhu terhadap nilai kekerasan dapat diamati pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.6. Berdasarkan Gambar 4.6 dapat dengan jelas diketahui bahwa naiknya suhu menyebabkan naiknya nilai kekerasan permukaan. Hal ini dapat terjadi karena semakin banyaknya difusi karbon seiring dengan peningkatan suhu. Proses difusi atom-atom karbon secara interstisi membutuhkan energi agar dapat masuk ke dalam baja. Energi dapat diperoleh dari panas pada proses pemanasan. Suhu pemanasan yang semakin tinggi dapat membuat energi yang dimiliki atom karbon semakin besar sehingga membuat pergerakan atom karbon lebih bebas dan menyisip di antara atom-atom pada permukaan baja. Hal ini sejalan dengan hukum Arrhenius (Persamaan 2.1), dimana suhu pemanasan yang semakin tinggi menghasilkan koefisien difusi yang lebih tinggi sehingga fluks difusi juga akan meningkat yang dijelaskan pada hukum pertama Fick pada Persamaan 2.2. Baja AISI 316L hasil *carburizing* dengan waktu tahan 12 jam yang dipanaskan pada suhu 500°C dan 600°C memiliki nilai kekerasan yang hampir sama. Kenaikan suhu tidak memberikan peningkatan nilai kekerasan yang berarti. Hal ini disebabkan adanya void pada struktur mikro baja

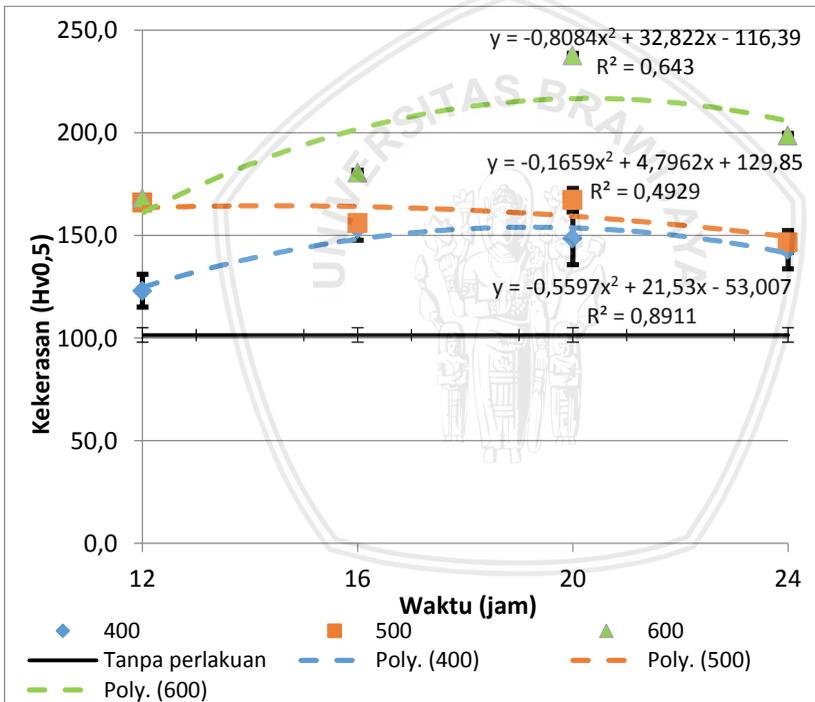
hasil *carburizing* pada suhu 600°C dengan waktu tahan 12 jam. Seperti yang telah dibahas sebelumnya bahwa void merupakan potensi retak, yang menyebabkan kenaikan nilai kekerasan permukaan baja AISI 316L hasil *carburizing* pada suhu 600°C waktu tahan 12 jam tidak terlalu tinggi.



Gambar 4.6 Nilai kekerasan permukaan baja tahan karat AISI 316L hasil *carburizing* terhadap variasi suhu

Pengaruh waktu tahan pada nilai kekerasan permukaan dapat diamati pada Gambar 4.7. Waktu menghasilkan data yang sedikit acak. Saat proses *carburizing* kedalaman difusi dapat meningkat seiring dengan penambahan waktu pemanasan sesuai dengan penurunan hukum kedua Fick yang menyatakan kedalaman difusi proporsional terhadap akar waktu. Sehingga seharusnya pada perlakuan waktu tahan yang lebih lama menghasilkan difusi karbon yang lebih banyak dan berdampak pada naiknya nilai kekerasan pada permukaan baja yang semakin tinggi. Namun data yang dihasilkan tidak menunjukkan hal yang demikian. Variasi nilai kekerasan

disebabkan oleh difusi karbon yang tidak merata pada permukaan. Hal ini sesuai dengan hasil struktur mikro baja pada pengujian secara *cross section* yang dapat teramati bahwa kedalaman difusi tidak merata disetiap titik. Selain itu, variasi nilai kekerasan ini disebabkan oleh adanya cacat volume (void) pada struktur baja. Seperti pada baja hasil *carburizing* pada suhu 600°C selama 24 jam pada pengujian struktur mikro secara *cross section* terlihat cacat volume yang menyebar pada struktur baja. Nilai kekerasan permukaan baja yang diproses selama 20 jam lebih besar dibanding baja yang diproses selama 24 jam, meskipun memiliki interstisi karbon pada batas butir yang lebih dalam dibandingkan baja hasil *carburizing* pada suhu 600°C selama 20 jam.



Gambar 4.7 Nilai kekerasan permukaan baja tahan karat AISI 316L hasil *carburizing* terhadap variasi waktu

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Suhu berpengaruh terhadap struktur mikro baja, yang dibuktikan dengan terjadi transformasi fase dari austenit menjadi ferit dan terdapat interstisi karbon pada batas butir pada pemanasan suhu 600°C. Kenaikan suhu berpengaruh terhadap naiknya nilai kekerasan permukaan baja tahan karat AISI 316L, dengan kekerasan tertinggi mencapai 237,7 HV_{0,5}.
2. Penambahan waktu mengakibatkan terjadinya transformasi fase pada baja tahan karat AISI 316L yang dipanaskan pada suhu 600°C. Namun, penambahan waktu pada suhu yang lebih rendah yaitu 400°C dan 500°C belum menghasilkan perubahan struktur mikro, karena penggunaan suhu yang lebih rendah harus dilakukan dengan waktu yang lebih lama agar karbon yang terdifusi semakin banyak. Meskipun demikian, penambahan waktu telah dapat menghasilkan nilai kekerasan permukaan yang cenderung meningkat.

5.2 Saran

Perlu dilakukannya uji kandungan karbon pada baja tahan karat AISI 316L agar dapat diketahui karbon yang terdifusi dan perlu dilakukan uji XRD, sehingga dapat diketahui fase yang terbentuk setelah proses *carburizing*.

DAFTAR PUSTAKA

- Askeland, D.R., P.P. Fulay, dan W.J. Wright. 2009. *The Science and Engineering of Materials*. Cengage Learning. 6th Ed., Cengage Learning. Stamford.
- ASM International Handbook Committee. 1985. *ASM Handbook Volume 9 Metallography and Microstructure*. ASM International. United States of America.
- Callister, W.D., dan D.G. Rethwisch. 2014. *Materials Science and Engineering An Introduction*. 9th Ed., WILEY. United States of America.
- Ceschini, L., C. Chiavari, E. Lanzoni, dan C. Martini. 2012. Low-temperature Carburised AISI 316L Austenitic Stainless Steel: Wear and corrosion behaviour. *Materials and Design*. 38:154–160.
- Davis, J.R. 2002. *Surface Hardening of Steel: Understanding the Basic*. ASM International. United States of America.
- Fiawoyife, D.E. 2012. *Effect of Temperature and Carbonaceous Environment on the Fatigue Behaviour of Aisi 316L Austenitic Stainless*. Dissertation. Faculty of Engineering and the Built Environment. University of the Witwatersrand. Johannesburg.
- Hadi, S. 2016. *Teknologi Bahan*. Andi. Yogyakarta.
- Handoyo, Y. 2015. Pengaruh Quenching dan Tempering pada Baja JIS Grade S45C terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Crankshaft. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. 3(2):102–115.
- Hartono, B. 2015. Karburasi Baja Karbon Rendah. *Vedc*. 1-46.
- Klenam, D.E.P., C. Polese, L.H. Chown, S. Kwofie, dan L. Cornish. 2015. Mechanical Behaviour of Pack Carburized AISI 316L Austenitic Stainless Steel. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 115(12):1183–1191.
- Krisdianto, G., Sumarni, dan Ismanto. 2000. Sari Hasil Penelitian

Bambu. Balitbang Kehutanan dan Perkebunan. Bogor.

Kuswanto, B. 2010. Pengaruh Perbedaan Ukuran Butir Arang Tempurung Kelapa Barium Karbonat terhadap Peningkatan Kekerasan Permukaan Material Baja ST 37 dengan Proses Pack Carburizing. Tesis. Program Studi Magister Teknik Mesin. Universitas Diponegoro. Semarang.

Negara, D.N.K.P. 2016. Efektifitas Carburizer dari Sumber Karbon Berbeda Pada Proses Pack Carburizing. *METTEK*. 2(1):5–10.

Putri, E.E. 2015. Potensi Arang Aktif Bambu Betung (*Dendrocalamus Asper*) sebagai Adsorben Ion Mn^{2+} dan NO_3^- dalam Air Sumur Bor Buruk Bakul, Bengkalis. Skripsi. Fakultas MIPA. Universitas Riau. Pekanbaru.

Salihati, F.G., dan H. Ardhyanta. 2013. Studi Pembuatan Karbon Hitam dari Bambu ORI (*Bambusa arundinacea*) dan Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*). *Jurnal Teknik Pomits*. 1(2):1–6.

Saucerman, L. 2005. Understanding the Element of the Periodic Table Carbon. The Rosen Publishing Group. New York.

Setton, R., P. Bernier, dan S. Lefrant. 2002. Carbon Molecules and Materials. Taylor & Francis. London.

Vlack, L.H. Van. 1994. Ilmu dan Teknologi Bahan. 4th Ed., Erlangga. Jakarta.

Wang, J., Z. Li, D. Wang, S. Qiu, dan F. Ernst. 2017. Thermal Stability of Low-temperature-carburized Austenitic Stainless Steel. *Acta Materialia*. 128:235–240.

Zavateri, P.D., dan H.D. Espinosa. 2001. Grain Level Analysis of Crack Initiation and Propagation in Brittle Materials. *Acta Materialia*. 49(20):4291–4311.