

**PENGARUH TEMPERATUR, WAKTU TAHAN DAN UKURAN
BUTIR KARBON TERHADAP KEKERASAN BAJA TAHAN
KARAT AISI 316L MENGGUNAKAN METODE *PACK*
CARBURIZING DENGAN SUMBER KARBON ARANG BAMBU**

SKRIPSI

Oleh:
BELLA ALTIKA SARI
145090307111024



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



**PENGARUH TEMPERATUR, WAKTU TAHAN DAN UKURAN
BUTIR KARBON TERHADAP KEKERASAN BAJA TAHAN
KARAT AISI 316L MENGGUNAKAN METODE *PACK*
CARBURIZING DENGAN SUMBER KARBON ARANG BAMBU**

SKRIPSI

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

Oleh:

BELLA ALTIKA SARI

145090307111024



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



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENGARUH TEMPERATUR, WAKTU TAHAN DAN UKURAN
BUTIR KARBON TERHADAP KEKERASAN BAJA TAHAN
KARAT AISI 316L MENGGUNAKAN METODE *PACK
CARBURIZING* DENGAN SUMBER KARBON ARANG BAMBU**

Oleh:

**BELLA ALTIKA SARI
145090307111024**

**Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal 25 Juni 2018
dan dinyatakan memenuhi syarat untu memperoleh gelar Sarjana
Sains dalam bidang fisika**

Pembimbing I

Pembimbing II

**Muhammad Ghufron, Ssi, MSi
NIP.1988072720401002**

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

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika
Fakultas MIPA UB**

**Prof. Dr.rer.nat. Muhammad Nurhuda
NIP. 19640910 1990021 001**



Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada BOPTN Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang telah mendanai penelitian ini berdasarkan surat perjanjian Nomor, 19/UN10.F09.01/PN/2017.





LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : BELLA ALTIKA SARI
NIM : 145090307111024
Jurusan : FISIKA
Penulis Skripsi berjudul :

“PENGARUH TEMPERATUR, WAKTU TAHAN DAN UKURAN BUTIR KARBON TERHADAP KEKERASAN BAJA TAHAN KARAT AISI 316L MENGGUNAKAN METODE *PACK CARBURIZING* DENGAN SUMBER 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 di kemudian hari ternyata Skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiblanan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 25 Juni 2018
Yang menyatakan,

(Bella Altika Sari)
NIM. 145090307111024



repository.ub.ac.id

PENGARUH TEMPERATUR, WAKTU TAHAN DAN UKURAN BUTIR KARBON TERHADAP KEKERASAN BAJA TAHAN KARAT AISI 316L MENGGUNAKAN METODE *PACK CARBURIZING* DENGAN SUMBER KARBON ARANG BAMBU

ABSTRAK

Baja tahan karat AISI 316L merupakan baja paduan dengan kandungan karbon relatif rendah yakni 0,030%. Kekerasan baja ini dapat ditingkatkan dengan metode *pack carburizing*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur, waktu tahan dan ukuran butir terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro baja tahan karat AISI 316L. Proses *pack carburizing* menggunakan karbon berbahan dasar arang bambu, dengan butiran karbon yang lolos pada ayakan 50 mesh dan 150 mesh. Spesimen dipanaskan pada temperatur 700°C, 750°C, 800°C, 850°C dengan waktu tahan 8 dan 16 jam. Spesimen hasil *carburizing* diuji dengan menggunakan *micro vickers hardness tester* dan mikroskop optik. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan, seluruh spesimen mengalami kenaikan dari kekerasan awal yaitu 101,4 HV. Nilai kekerasan tertinggi mencapai 279,50 HV pada spesimen hasil *carburizing* temperatur 850°C, waktu tahan 16 jam dan ukuran butir 150 mesh. Semakin tinggi temperatur akan menyebabkan difusivitas semakin tinggi, sehingga atom karbon lebih mudah terdifusi, sedangkan semakin lama waktu tahan akan memberi kesempatan karbon untuk berdifusi lebih dalam ke dalam matrik baja, sedangkan semakin kecil ukuran butir memungkinkan kontak karbon dengan baja semakin luas. Hal ini berpengaruh terhadap distribusi ukuran butir dan ketebalan intertisi karbon pada batas butir hasil pengamatan mikroskop optik.

Kata kunci : Baja tahan karat AISI 316L, Struktur Mikro, *Pack Carburizing*, Ukuran Butir, Temperatur, Arang Bambu



repository.ub.ac.id

THE EFFECT OF TEMPERATUR, HOLDING TIME AND CARBON POWDER SIZE TO HARDNESS OF AISI 316L STAINLESS STEEL USING BY PACK CARBURIZING METHOD WITH BAMBOO CHARCOAL CARBON SOURCE

ABSTRACT

Stainless steel AISI 316L is an alloy steel with a relative low carbon content of 0.030%. The hardness of this steel can be improved by carburizing pack method. This study aims to determine the effect of temperatur, holding time and powder size to the value of hardness and microstructure of AISI 316L stainless steel. Carburizing pack process using carbon made from bamboo charcoal, with powder of carbon that pass in 50 mesh and 150 mesh sieve. The specimens were heated at temperatur around 700 °C, 750 °C, 800 °C, 850 °C with a holding time at 8 and 16 hours. The carburizing specimens were tested using vickers micro hardness tester and optical microscope. Based on the results of hardness testing, all of the specimens had hardness increased from the initial hardness 101.4 HV. The highest hardness value reached 279,50 HV on carburized specimen at temperatur 850 °C, 16 hour holding time and 150 mesh powder size. The higher temperatur will causing higher diffusivity, so that the carbon atoms are more easily diffused, whereas the longer holding time will increase the carbon chance to be diffuse to matrix steel. The smaller powder size allows for increased carbon footprint. This is related to the grain size distribution and the thickness of the carbon intertition at the grain boundary of the optical microscope observation.

Keywords: Stainless steel AISI 316L, Micro Structure, Carburizing Pack, Powder Size, Temperatur, Holding Time, Bamboo Charcoal



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas berkah dan limpahan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **“Pengaruh Temperatur, Waktu Tahan Dan Ukuran Butir Karbon Terhadap Kekerasan Baja Tahan Karat AISI 316L Menggunakan Metode *Pack Carburizing* Dengan Sumber Karbon Dari Arang Bambu”**. Skripsi ini ditujukan untuk memenuhi syarat dalam memperoleh gelar Strata satu Sarjana Sains dalam bidang fisika. Skripsi ini disusun berdasarkan data penelitian yang dilakukan sejak bulan september 2017 hingga februari 2018. Dalam penyelesaian tugas akhir ini, penulis telah mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak dan Ibu, Weva Rahmadana, Wevi Rahmadani atas doa, dukungan, restu dan motivasi yang tak pernah putus.
2. Bapak Prof.Dr.rer.nat Muhammad Nurhuda selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas MIPA.
3. Bapak Muhammad Ghufron, S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing serta memberikan arahan dalam penyelesaian proposal Tugas Akhir ini.
4. Ibu Dr. Istiroyah, S.Si.,MT selaku pembimbing II yang telah memberikan ilmu, kritik, saran dan masukan dalam penyelesaian proposal Tugas Akhir ini.
5. Bapak Mauludi Ariesto Pamungkas, S.Si.,M.Si.,Ph.D selaku pembimbing akademik yang telah memberikan nasehat kepada penulis.
6. Dosen-dosen Jurusan Fisika, yang telah mendidik, memotivasi dan memberikan ilmu yang bermanfaat bagi penulis.
7. Bapak Puji dan Bapak Roby selaku laboran Laboratorium Fisika Material dan Laboratorium Biofisika yang telah banyak membantu penyelesaian laporam skripsi ini.
8. Staf-staf Jurusan Fisika, yang telah memberikan pelayanan akademik dengan baik.
9. Tim penelitian, Adin Lutfi Nursela, Lusita Sulandari, Septi Dwi Lestari, Yelly Zelfita, Rena Wahyu Dhiaul, Pugoh Adi M, Jias Oktavia Marnaningrum, Anggraeni Mulya Dewi, atas kebersamaan selama penelitian.

- repository.ub.ac.id
10. Teman seperjuangan, Rani Putri Lavinia, Ririn Dwi Eristina, Ainin Uswatun Hasanah yang selalu memberi dukungan dan menemani selama perkuliahan hingga akhir.
 11. Teman-teman fisika, Dian Prima Nursetya, Raflesia Sekar Ayu, Sabrina Rizqi Hawadah, Betty Meytasari, yang telah memberi semangat kepada penulis.
 12. Teman-teman Jurusan Fisika angkatan 2014 yang telah menunjukkan banyak perbedaan kepada penulis.
 13. Sembilan kawan, Riris Aulya Putri, Jevita Wijaya, Mira Anggraeni, Arif Kurnia Putra, Abdul Qodir, Alfian Agus Hidayat, Naviel Mahkail Haikal dan Dwi Becti yang selalu mendukung, menghibur, memberi kritik dan saran, dan menyelesaikan tugas akhir penulis.
 14. Teman Ngomong, Dinda Almas Arum, Annisa Nadya, Ridha Zubaidah, Maulydha Zulvia yang selalu menghibur dan memberi nasehat serta semangat kepada penulis.
 15. Keluarga Bani Safari dan Bani Soewarno yang selalu memberi kasih sayangnya kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini pasti terdapat kekurangan, oleh karena itu penulis berharap kritik dan saran yang membangun untuk penulis agar skripsi ini menjadi lebih baik. Sekian yang dapat disampaikan oleh penulis.

Malang, 25 Juni 2018

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	v
LEMBAR PERNYATAAN	ix
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR LAMPIRAN	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Baja tahan karat AISI 316L	5
2.2 Struktur Mikro Baja	5
2.3 Bambu	12
2.4 Difusi.....	14
2.5 Perlakuan Panas (<i>Heat treatment</i>) dan Perlakuan Permukaan (<i>Surface treatment</i>)	17
2.7 Pengujian Material	22
BAB III METODE PENELITIAN	28
3.1 Waktu dan Tempat	29
3.2 Peralatan dan Bahan.....	29
3.3 Prosedur Penelitian	30
3.4 Diagram Alir	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Hasil Pembuatan Karbon Murni	37
4.2 Analisa Hasil Carburizing	38
4.3 Analisa Uji Kekerasan	41
4.4 Uji struktur mikro dan pengaruh ukuran butir	47
4.5 Uji sudut kontak	53

BAB V PENUTUP56
 5.1 Kesimpulan57
 5.2 Saran57
DAFTAR PUSTAKA.....59
LAMPIRAN61



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Baja tahan karat AISI 316L	7
Gambar 2. 2 Diagram Fase Fe-C (Callister, 1991).....	8
Gambar 2. 3 Perubahan struktur mikro dalam diagram Fase Fe-C. ...	9
Gambar 2. 4 Struktur kristal Body Centered Cubic (Yono, 2013). ..	10
Gambar 2. 5 Struktur kristal FCC (Yono,2013)	10
Gambar 2. 6 Struktur kristal BCT	11
Gambar 2. 7 Tanaman Bambu.....	12
Gambar 2. 8 Elemen yang terdapat dalam bambu.....	13
Gambar 2. 10 Difusi <i>vacancy</i> keadaan padat (Callister, 1991).	14
Gambar 2. 11 Difusi interstisial keadaan pada.....	15
Gambar 2. 12 Proses pack karburasing	20
Gambar 2. 13 Mekanisme Difusi Intertisi.	21
Gambar 2. 14 Pergerakan batas butir. atom-atom bergerak menuju butir dengan permukaan cekung, dimana permukaan cekung lebih stabil (Vlack, 1981).....	22
Gambar 2. 15 Pengujian Vickers.....	24
Gambar 2. 16 Pengujian struktur mikro dengan mikroskop.....	37
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian	35
Gambar 4. 1 (a) Bambu sebelum dikarbonasi (b) bambu setelah dikarbonisasi dan menjadi arang (c) karbon murni. ...	38
Gambar 4. 2 Permukaan baja AISI 316L tanpa perlakuan	38
Gambar 4. 3 Nilai kekerasan ukuran butir karbon 50 mesh.	43
Gambar 4. 4 Nilai kekerasan ukuran butir karbon 150 mesh	43
Gambar 4. 5 Nilai kekerasan sebagai waktu penahanan 8 jam.....	45
Gambar 4. 6 Nilai kekerasan sebagai waktu penahanan 16 jam.....	46
Gambar 4. 7 (a) Struktur mikro baja AISI 316L tanpa perlakuan (b) Struktur mikro baja austenit.....	47
Gambar 4. 8 Struktur Mikro baja setelah hasil carburizing pada temperatur 850°C dengan ukuran butir 50 mesh (a) waktu tahan 8 jam (b) waktu tahan 16 jam.....	49
Gambar 4. 9 Grafik distribusi ukuran butir baja tahan karat 316L sebelum dan setelah hasil carburizing pada ukuran butir 50 mesh.....	50

Gambar 4. 10 Struktur Mikro baja setelah hasil carburizing
 (a) 700°C 8 jam 150 mesh
 (b) 850°C 16 jam 150 mesh.....51

Gambar 4. 11 Grafik distribusi ukuran butir baja tahan karat 316L
 sebelum dan setelah hasil carburizing pada ukuran
 butir 150 mesh.....52

Gambar 4. 12 Hasil uji sudut kontak pada tahan karat AISI 316L
 (a) tanpa perlakuan (b) hasil *treatment*54



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 Komposisi kimia Stainless Steel AIS 316L.....	7
Tabel 2. 2 Besar Kandungan pada Bambu	13
Tabel 2. 3 Difusifitas Atom (D).....	17
Tabel 2. 4 Macam-macam teknik pengujian kekkerasan.....	23
Tabel 2. 5 Konfigurasi Kekerasan	25
Tabel 3. 1 Jumlah specimen yang digunakan pada penelitian dengan variasi suhu, ukuran butir dan waktu pemanasan.	Error!
	Bookmark not defined.
Tabel 4. 1 Visualisai baja tahan karat AISI 316L hasil <i>carburizing</i>	39
Tabel 4. 2 Nilai kekerasan baja setelah <i>dicarburizing</i>	42
Tabel 4. 3 Nilai sudut kontak pada baja AISI 316L setelah hasil <i>carburizing</i>	54





DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Alat Dan Bahan.....	61
Lampiran 2 Hasil Uji Kekerasan	65
Lampiran 3 Hasil Uji Struktur Mikro	66
Lampiran 4 Distribusi Ukuran Butir.....	75
Lampiran 5 Hasil Uji Sudut Kontak.....	84
Lampiran 6 Perhitungan hasil sudut uji kontak	93





BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja tahan karat AISI 316L telah banyak digunakan dalam berbagai bidang industri seperti industri biomedis, industri konstruksi bangunan, industri otomotif, serta digunakan pada pembuatan peralatan industri yang dioperasikan dilingkungan bertemperatur tinggi. Aplikasi tersebut berkaitan dengan sifat ketahanan korosi yang baik pada baja tahan karat AISI 316L, namun baja ini tidak dapat diaplikasikan pada bagian yang mengalami gesekan karena memiliki sifat kekerasan yang rendah sehingga mudah aus (Raharjo, Dwi, & Satriya, 2015). Keausan merupakan perubahan dimensi material yang disebabkan perpindahan permukaan material akibat pengikisan sebagai hasil dari aksi mekanik yang terjadi pada komponen bagian permukaan yang saling bergesekan. Akibat dari keausan ini dapat mengurangi fungsi dari mesin seperti pembatasan usia pakai dan *performance* bagian mesin, sehingga mengakibatkan peningkatan biaya *maintenance*. Pengurangan fungsi mesin 70% disebabkan oleh kerusakan pada permukaan logam meliputi keausan (55%) dan korosi (15%), sehingga keausan merupakan penyebab utama kerusakan dari mesin maka perlu dilakukan usaha untuk meningkatkan sifat kekerasannya dengan modifikasi permukaan salah satunya dengan metode *pack carburizing* (Hamzah & Iqbal, 1999).

Pack carburizing merupakan proses penambahan unsur karbon pada baja karbon rendah secara difusi sehingga karbon dari media *carburizing* akan masuk ke permukaan baja dan meningkatkan kadar karbon pada permukaan baja karbon rendah tersebut. Proses ini dilakukan dengan cara pemanasan dengan temperatur tinggi dengan waktu tertentu untuk menghasilkan peningkatan sifat tertentu.

Salah satu sumber karbon yang dapat digunakan berasal dari arang bambu. Bambu memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi sekitar 66,41%. Pada penelitian (Ngakan & Putra, 2016), membandingkan kemampuan difusi dari sumber karbon yang berbeda untuk melihat keefektifan dalam menghasilkan kekerasan dan kedalaman kekerasan. Hasil yang diperoleh adalah karbon bambu dapat meningkatkan kekerasan permukaan cukup tinggi dan menghasilkan

kedalaman difusi yang paling tinggi. Hal inilah yang menjadikan bambu cocok menjadi sumber karbon, disamping itu karena ketersediaanya yang melimpah di Indonesia, harga terjangkau serta keunggulannya sebagai bahan yang ramah lingkungan.

Proses *pack carburizing* menggunakan media berupa serbuk karbo, menurut (Bambang Kuswanto, 2010), ukuran butir pada karbon juga dapat mempengaruhi proses *carburizing*. Atom karbon akan berubah menjadi gas setelah terjadi kenaikan tempertaur, yang dipengaruhi oleh ukuran luasan permukaan. Semakin kecil ukuran karbon maka akan semakin mudah dan lebih cepat menjadi zat gas, sehingga pada penelitian ini menggunakan dua ukuran butir karbon yang lolos ayakan 50 mesh dan 150 mesh.

Berdasarkan latar belakang diatas maka dilakukan penelitian pada baja tahan karat AISI 316L yang dilakukan modifikasi permukaan dengan metode *pack carburizing* menggunakan karbon arang bambu dengan variasi temperatur, waktu tahan dan ukuran butir.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dapat di ambil suatu rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh ukuran butir karbon murni terhadap kekerasan baja tahan karat AISI 316L?
2. Bagaimana pengaruh temperatur terhadap kekerasan baja tahan karat AISI 316L?
3. Bagaimana pengaruh waktu tahanan terhadap kekerasan baja tahan karat AISI 316L?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh ukuran butir karbon terhadap kekerasan baja tahan karat AISI 316L.
2. Menganalisis pengaruh temperatur terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro baja tahan karat baja AISI 316L.
3. Menganalisis pengaruh waktu tahanan terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro baja tahan karat baja AISI 316L.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi tentang pengaruh karbon murni berbahan dasar arang bambu terhadap peningkatan kekerasan pada baja tahan karat AISI 316L.
2. Diharapkan mendapat banyak informasi tentang hasil proses perlakuan panas pada baja tahan karat AISI 316L, sehingga dapat bermanfaat bagi pengembangan material ini.

1.5 Batasan Penelitian

Agar masalah tidak melebar dari pembahasan utama, maka permasalahan dibatasi oleh :

1. Pada penelitian menggunakan metode *pack carburizing* dan tidak diikuti dengan proses *quencing*.
2. Jenis arang yang digunakan berbahan dasar dari arang bambu..
3. Temperatur yang digunakan adalah 700°C, 750°C, 800°C dan 850°C.
4. Waktu tahan yang digunakan 8 jam dan 16 jam
5. Ayakan yang digunakan berukuran 50 mesh yang menghasilkan ukuran butir $\leq 270 \mu\text{m}$ dan ayakan 150 mesh menghasilkan ukuran butir $\leq 106 \mu\text{m}$.
6. Pengujian yang dilakukan meliputi uji kekerasan *micro vickers hardness tester*, uji struktur mikro dengan mikroskop optik dan uji hidrofobisitas.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja tahan karat AISI 316L

Baja merupakan logam paduan antara besi (Fe) dan karbon (C), dimana besi (Fe) sebagai unsur dasar dan karbon (C) sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon pada baja berkisar 0,1%-1,7% bergantung pada tingkatannya, dimana kandungan karbon tersebut berfungsi sebagai unsur penguat dalam struktur baja dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal atom besi. Berdasarkan komposisi baja dibagi menjadi 2 macam yakni baja karbon (baja tanpa paduan) dan baja paduan. Baja Karbon diklasifikasikan menjadi 3 berdasarkan persentase karbon, yakni baja karbon rendah (*low carbon steel*) mengandung karbon antara 0,10 – 0,30, baja karbon sedang (*medium carbon steel*) mengandung karbon antara 0,3 – 0,6 % dan baja karbon tinggi (*high carbon steel*) mengandung kadar karbon antara 0,6 – 1,7 %. Penambahan karbon dalam suatu baja akan meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun disisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*).

Stainless steel atau baja tahan karat merupakan baja paduan yang mengandung unsur *Chromium* (Cr). The American Iron and steel institute (AISI) memberikan batasan kandungan 4 % kromium, bila kandungan *Chromium* (Cr) lebih dari 4% maka paduan tersebut sudah memenuhi syarat masuk ke dalam golongan tahan karat. Kandungan *Chromium* (Cr) menentukan sifat ketahanan korosi pada material, sifat korosi akan nampak ketika kandungan kromium diatas 11%. (Mahardika & Saputra, 2014).

Ketahanan korosi tergantung pada kestabilan lapisan oksidanya dengan membentuk lapisan *chromium oksida* (Cr_2O_3). Lapisan tersebut akan bertahan dari pengaruh oksidasi, jika lapisan tersebut rusak akan membentuk kembali dengan adanya oksigen Untuk lingkungan yang berbeda dioptimalkan oleh *alloying* dengan unsur lain, contoh: *nikel, tembaga, aluminium, silicon*, dll. Penambahan unsur paduan pada tahan karat dilakukan untuk mengontrol struktur mikro dan ketahanan korosinya. Berdasarkan pembentukannya baja tahan karat (tahan karat) dibagi menjadi empat jenis yakni:

1. Baja Tahan Karat Martensitik (*Martensitic Stainless Steel*)

Baja tahan karat *martensitik* mengandung kromium sebesar 11,5 – 18 % dengan kadar karbon relatif tinggi yakni sebesar 0,12 – 1,20 %. Proses perlakuan panas (*heat treatment*) dilakukan dengan cara memanaskan baja hingga mencapai temperatur *austenit*, kemudian dilakukan pendinginan dengan cepat ke dalam media cair. Selama proses pendinginan *austenit* akan bertransformasi menjadi *martensit*. Fase *martensit* membuat baja menjadi rapuh, sehingga untuk mendapatkan keuletannya dilakukan proses pemanasan temper. Sedangkan untuk meningkatkan nilai kekerasan pada baja maka ditambahkan unsur karbon sesuai dengan kekerasan yang diinginkan.

2. Baja Tahan Karat Feritik (*Feritic Stainless Steel*)

Baja tahan karat *feritik* mengandung kromium sebesar 12% – 30% dengan kadar karbon relatif rendah. Untuk meningkatkan kekerasan pada baja tahan karat feritik umumnya tidak dapat dilakukan dengan perlakuan panas, tetapi mampu dikeraskan dengan metode pengerjaan dingin. Pada baja ini kandungan karbon sebagian besar membentuk endapan kromium karbida. Karbida yang terbentuk tidak mengurangi ketahanan korosi pada baja. Unsur kromium yang terkandung berperan sebagai penstabil ferit sehingga luas daerah ferit menjadi lebih luas, sedangkan daerah austenite menjadi lebih sempit.

3. Baja Tahan Karat Austenik (*Austenitic Stainless Steel*)

Pada suhu ruang, baja tahan karat austenite memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dari pada baja tahan karat martensitik. Baja ini terbentuk pada larutan padat Fe-Cr dengan ditambah unsur penstabil seperti nikel atau mangan. Selain sebagai unsur penstabil nikel dan mangan dapat menambah luas daerah fase austenit dan mempersempit daerah ferit. Baja tahan karat ini tidak dapat dilaku-panas karena bersifat *feromagnetik*. Sehingga untuk meningkatkan kekuatannya dilakukan dengan pengerjaan dingin atau dengan menambah unsur paduan tertentu yang dapat meningkatkan kekuatannya. Pada baja tahan karat austenitik memiliki tipe L grade, dimana tipe ini memiliki kandungan unsur karbon yang rendah. Hal tersebut menjadikan kekuatan fisik dan mekanik baja akan berkurang, namun memiliki sifat tahan korosi yang lebih tinggi dibandingkan dengan tipe lain.

4. Baja Tahan Karat Duplex (*Duplex Stainless Steel*)

Baja tahan karat duplex merupakan baja dengan unsur utama paduan *nickel* dan *chromium*, memiliki struktur mikro dengan

presentase ferit dan austenit hampir sama yakni sekitar 50%. Baja ini memiliki sifat tahan korosi mirip dengan baja tahan karat *austenitic*, selain itu nilai kekuatan, ketahanan retak dan keuletannya lebih tinggi daripada baja tahan karat *austenitic*. Baja tahan karat duplex ini memiliki perpaduan antara bcc ferit dan fcc austenit, sehingga nilai kekerasannya diantara baja tahan karat austenitik dan feritik.



Gambar 2. 1 Baja tahan karat AISI 316L

Tahan karat tipe 316L memiliki kandungan karbon yang relatif rendah dengan ditadai huruf L pada akhir tipe sehingga memiliki sifat ketahanan leleh rendah namun memiliki sifat tahan korosi yang baik akibat paduan dari *chromium*. AISI 316L telah digunakan secara luas pada dunia rekayasa material salah satunya sering digunakan pada dunia ilmu biomedik karena memiliki ketahanan korosi yang tinggi dan sangat cocok untuk bahan implan (Raharjo et al., 2015). Selain itu baja tahan karat AISI 316L sering digunakan pada industri dengan lingkungan bertemperatur tinggi. Baja tahan karat AISI 316L memiliki komposisi kimia (%wt) sebagai berikut:

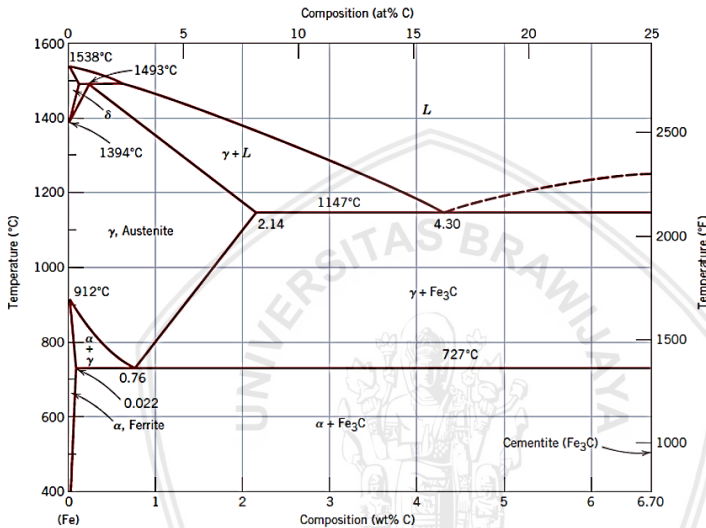
Tabel 2. 1 Komposisi kimia Stainless Steel AIS 316L (Raharjo et al., 2015).

Karbon (C)	Mangan (Mn)	Fosfor (P)	Sulfur (S)	Silikon (Si)
0,03	2,00	0,045	0,03	0,75
Molydenum (Mo)	Nitrogen (N)	Besi (Fe)	Chromium (Cr)	Nikel (Ni)
2,0-3,0	0,10	67,8	16,0-18,0	10,0-14,0

2.2 Struktur Mikro Baja

2.2.1 Diagram Fase Fe-C

Diagram fase merupakan diagram yang menunjukkan hubungan antara temperatur dengan kadar karbon, dimana terjadi perubahan fase selama proses pendinginan dan pemanasan. Diagram fase menjadi parameter untuk mengetahui fase yang terjadi dalam baja, dan untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi terjadinya perubahan fase dengan berbagai jenis perlakuan.



Gambar 2. 2 Diagram Fase Fe-C (Callister & Rethwisch, 1991).

Unsur karbon yang terlarut dalam besi akan mengalami transformasi allotropik seperti yang terlihat pada Gambar 2.2. Baja terbagi menjadi 3 sesuai kandungan karbon yakni eutektoid, hypoeutektoid dan hypereutektoid. Eutektoid terdapat kandungan karbon sebesar 0,8% yang memiliki struktur perlit. Pada pemanasan equilibrium pada temperatur $A_1(723^\circ\text{C})$ akan mengalami reaksi eutektoid yakni struktur perlit berubah menjadi austenit. Reaksi ini berlangsung pada temperatur konstan, hingga perlit habis berubah menjadi austenit baru dan semua struktur austenit akan stabil.

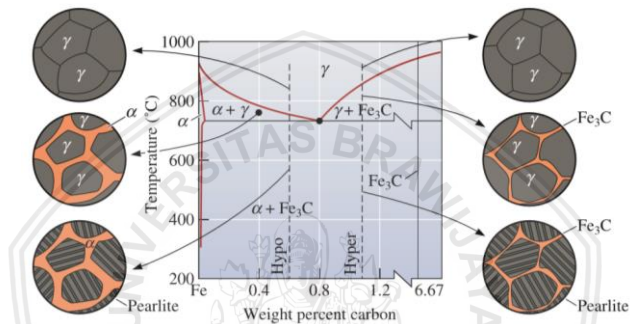
Baja hypoeutektoid memiliki kandungan karbon sebesar kurang dari 0,8%, struktur mikro berupa ferit dan perlit akan mengalami reaksi eutektoid pada temperatur A_1 perlit akan berubah menjadi austenit.

Transformasi allotropik ini berlangsung hingga temperatur kristis yaitu diatas A_3

Baja hypereutektoid memiliki kandungan karbon sebesar lebih dari 0,8% terdiri dari struktur mikro perlit yang dikelilingi oleh sementit. Perlit akan mengalami reaksi eutektoid pada A_1 kemudian sementit akan mulai larut kedalam austenit pada temperatur A_{cm} .

2.2.2 Perubahan Fase Fe-C

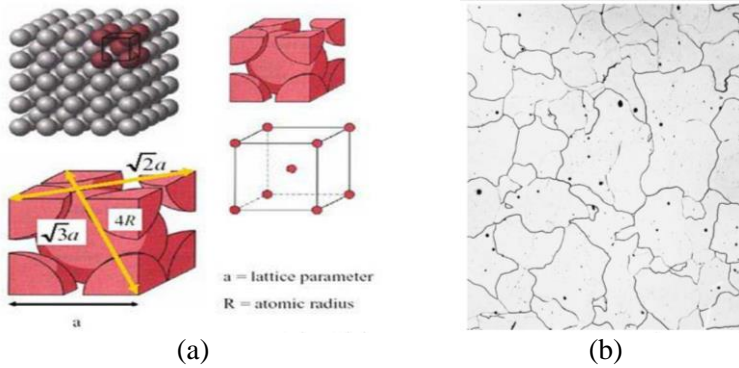
Dalam diagram fase Fe-C terjadi beberapa perubahan fase yaitu perubahan fase ferit (α -Fe), austenit (γ -Fe), sementit, perlit, dan marensit.



Gambar 2. 3 Perubahan struktur mikro dalam diagram Fase Fe-C (Askeland, Fulay, & Wright, 2006).

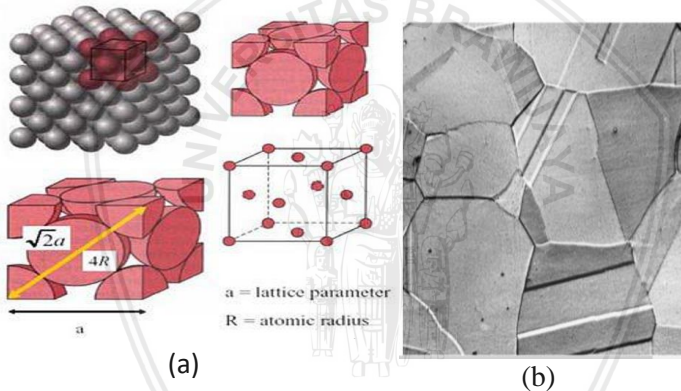
a. Ferite atau Besi Alpha (α -Fe)

Ferit merupakan larutan padat α yang memiliki struktur BCC (*body centered cubic*) dengan sifat lunak, ulet dan magnetic hingga temperatur tertentu. Fase ferit merupakan fase stabil yang terbentuk dari besi murni pada temperatur antara 300°C hingga mencapai temperatur 723°C. Kelarutan karbon pada fas ini relatif kecil yakni 0,02% C. Jika dilihat menggunakan mikroskop struktur mikro tampak berwarna putih seperti pulau-pulau berwarna terang (Imamudin, 2016).



Gambar 2. 4 (a) Struktur kristal Body Centered Cubic (Yono, 2013)
(b) Struktur mikro ferit (Callister & Rethwisch, 1991).

b. Austenit atau Besi Gamma (γ -Fe)

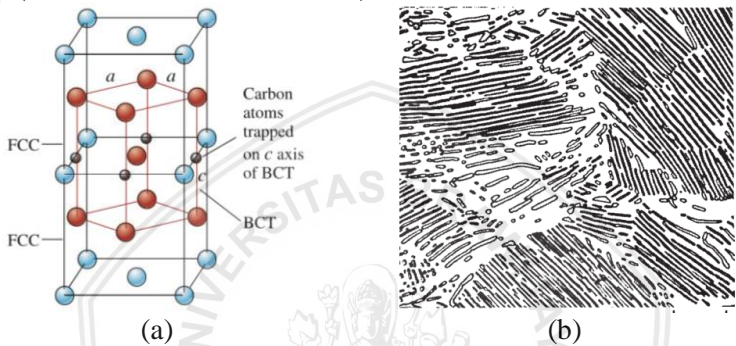


Gambar 2. 5 (a) Struktur kristal FCC (Yono,2013) (b) Struktur mikro austenit (Callister & Rethwisch, 1991).

Fase austenite merupakan larutan padat intertisi antara karbon dan besi yang memiliki struktur FCC (*face centered cubic*), dimana jarak antar atom lebih besar dibandingkan dengan perlit. Fase austenite terbentuk antara temperatur 912°C hingga 1394°C dan memiliki kelarutan karbon maksimal mencapai 2% C. Pada umumnya mampu las yang baik, dan lebih tangguh bila dibandingkan dengan paduan feritik.

c. Sementit atau karbida besi (Fe_3C)

Sementit merupakan paduan besi karbon dimana karbon telah melebihi batas kelarutannya yang mencapai 6,70% C sehingga membentuk fase kedua atau yang disebut karbida besi yang memiliki komposisi Fe_3C dengan struktur kristal berupa BCT. Munculnya karbida pada fase ferit akan meningkatkan kekerasan pada baja, karena karbida memiliki sifat dasar yang sangat keras, kekuatan tekannya juga tinggi tetapi baja ini bersifat getas (rapuh). Jika dilihat menggunakan mikroskop struktur mikronya tampak berwarna hitam atau berwarna gelap (Callister & Rethwisch, 1991).



Gambar 2. 6 (a) Struktur kristal BCT (b) Struktur mikro karbida besi (Callister & Rethwisch, 1991)

d. Perlit

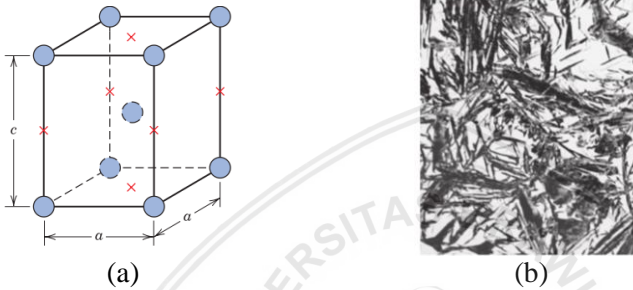
Perlit merupakan campuran antara ferit dan sementit yang berbentuk seperti pelat-pelat yang disusun secara bergantian antara sementit dan ferit, terbentuk saat kandungan karbon mencapai 0,8% C pada suhu 723°C pada metode pendinginan sangat lambat. Struktur kristal perlit adalah BCC dan memiliki sifat keras, ulet dan kuat.



Gambar 2. 7 Struktur mikro perlit (Callister & Rethwisch, 1991).

e. Martensit

Martensit adalah fase yang terbentuk akibat laju pendinginan sangat cepat, dimana pada fase ini tidak terjadi difusi karena atom-atom karbon yang bergerak secara serentak dihentikan pada waktu yang sangat singkat sehingga atom akan berhenti bergerak pada posisi pergeseran awal pada larutan padat. Struktur kristal fase martensit adalah BCT yang memiliki sifat kuat dan keras, akan tetapi besi ini juga bersifat getas dan rapuh. Struktur mikro fase ini umumnya berbentuk jarum-jarum yang terang (Imadudin, 2016).



Gambar 2. 8 (a) Struktur kristal BCT (b) Struktur mikro martensit (Callister & Rethwisch, 1991)

2.3 Bambu

Tanaman bambu tergolong keluarga *Gramineae* (rumput-rumputan), berbentuk rumpun (*sympodial*) dan mempunyai beberapa keistimewaan yang berbeda dengan tanaman lainnya. Bambu salah satu sumber alam hutan yang diperkirakan terdapat 1200 *species* dan lebih dari 70 *genera* dan area atau luas tanaman bambu sekitar 22 juta hm^2 atau pertahunnya menghasilkan sekitar 5-10 ton. Di Indonesia terdapat 9 *genera* dan 30 *spesies* pada luas area berkisar 0,06 hm^2 (Ding, 2008).



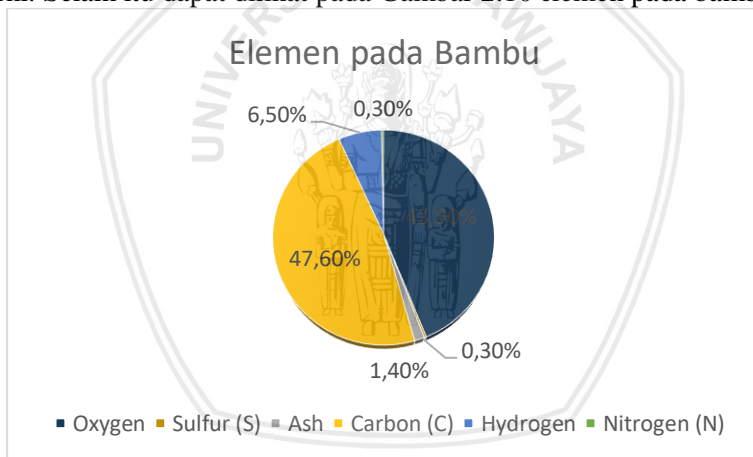
Gambar 2. 9 Tanaman Bambu

Bambu merupakan tanaman yang sering ditemui didaerah pedesaan. Bambu memiliki sifat yang sering dimanfaatkan antara lain batangnya kuat, ulet, lurus, rata, keras, mudah dibentuk dan ringan sehingga mudah untuk diangkut. Selain itu harganya terjangkau. Sedangkan untuk sifat kimia bambu meliputi:

Tabel 2. 2 Besar Kandungan pada Bambu (Krisdianto, Sumarni, & Agus, 1995).

Kandungan	(%)
Kadar Selulosa	42,4%-53,6%
Kadar Pentosan	1,24%-3,77%
Kadar Abu	1,24%-3,77%
Kadar Silika	0,10%-1,78%

Dari sifat lignoselulosa yang banyak mengandung karbon, maka bambu dapat memenuhi kriteria sebagai bahan baku pembuatan karbon murni. Selain itu dapat dilihat pada Gambar 2.10 elemen pada bambu.



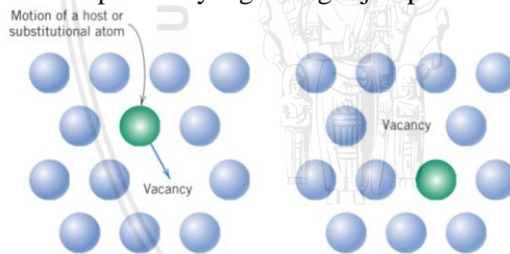
Gambar 2. 10 Elemen yang terdapat dalam bambu (Melania, 2012).

Pada penelitian (Ngakan & Putra, 2016) menyatakan bahwa keefektifan karbon dievaluasi dari tingkat kekerasan dan kedalaman kekerasan (*case depth*) yang dapat dicapai oleh sumber karbon. Karbon yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari arang tulang kambing, bambu, tulang bebek dan dan pelepah kelapa. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa carburizer dari arang tulang bebek

memiliki nilai kekerasan permukaan tertinggi yakni sebesar 556,37 HV, kemudian diikuti oleh arang bambu sebesar 532,01 HV. Sedangkan dari segi kedalaman tingkat kekerasan arang bambu memiliki nilai tertinggi yaitu sampai 2,6 mm dan diikuti oleh carburizer dengan arang tulang kambing sebesar 1,4 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa arang bambu dapat meningkatkan kekerasan baja karbon rendah. Pada penelitian ini kandungan karbon pada arang bambu sebesar 66,41%.

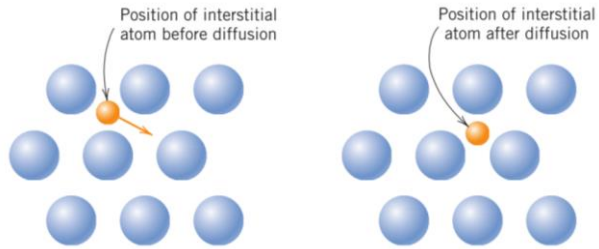
2.4 Difusi

Difusi adalah gerak spontan dari atom atau molekul bahan yang cenderung membentuk komposisi yang seragam. Hukum pertama Fick's menyatakan bahwa difusi dari sebuah bahan substrat merupakan fungsi koefisien difusi dan gradient konsentrasi. Gradient konsentrasi adalah jumlah atom yang terdapat disekitar substrat dibandingkan dengan jumlah atom yang terdapat di dalam substrat. Factor yang mempengaruhi kecepatan difusi yaitu, temperatur, komposisi dan waktu (Smallman & Ngan, 2014). Bila suhu pada material naik, maka atom-atomnya akan bergetar dengan energi yang lebih besar dan atom dalam kisi akan berpindah. Difusi *vacancy* dan difusi interstisial adalah dua mekanisme difusi padatan yang sering dijumpai.



Gambar 2. 11 Difusi *vacancy* keadaan padat (Callister & Rethwisch, 1991).

Pada difusi *vacancy*, atom berpindah dari kisi normal ke kisi kosong yang berada didekatnya. Difusi ini memerlukan kisi kosong, biasanya terjadi karena distorsi kisi. Seiring meningkatnya temperatur akan sebanding dengan banyaknya atom yang berdifusi secara *vacancy*. Atom yang berpindah dari kisi satu ke kisi kosong lainnya akan menyebabkan kekosongannya dari tempat semula yang nantinya akan ditempati oleh atom lain yang berada di dekatnya.



Gambar 2. 12 Difusi interstisial keadaan pada (Callister & Rethwisch, 1991).

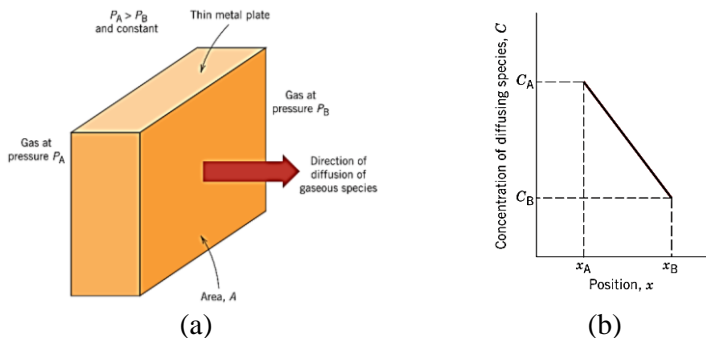
Sebuah atom bergerak secara difusi interstisial dengan cara meloncat dari satu kisi interstisi menuju kisi tetangga yang masih kosong. Mekanisme ini hanya dapat terjadi pada atom terlarut lebih kecil dari atom pelarut, seperti karbon, nitrogen dan oksigen yang memiliki ukuran atom yang relatif kecil. Ini biasanya melibatkan suatu dilatasi atau distorsi kisi.

2.4.1 Difusi dalam kondisi *steady-state*

Pada proses difusi besarnya massa yang berpindah dari satu tempat ke tempat lainnya dipengaruhi oleh fungsi waktu. Hal ini mempengaruhi kecepatan difusi yang sering disebut laju perpindahan massa (fluks difusi). Besarnya fluks difusi (J) didefinisikan sebagai banyaknya massa yang berdifusi dan tegak lurus terhadap suatu luasan benda padat per satuan waktu.

$$J = \frac{m}{At} \dots\dots\dots 2.1$$

Jika fluks difusi tidak berubah seiring bertambahnya waktu, maka kondisi *steady-state* telah tercapai. Kondisi ini dapat dimisalkan seperti Gambar 2.13 (a) yakni perpindahan atom gas melalui plat logam dimana konsentrasi pada kedua permukaan plat tersebut konstan. Jika konsentrasi dibandingkan dengan jarak dalam sebuah grafik akan didapat grafik graduen konsentrasi (Gambar 2.13 (b)).



Gambar 2. 13 (a) Difusi pada kondisi *steady-state* (b) gradien konsentrasi pada difusi kondisi *steady-state* (Callister & Rethwisch, 1991)

$$\text{Gradien konsentrasi} = \frac{\Delta C}{\Delta x} = \frac{C_A - C_B}{x_A - x_B} = \frac{dC}{dx} \dots\dots\dots 2.2$$

Pada persamaan difusi kondisi *steady-state* dalam satu arah aksial (x), fluks difusi didapat sebanding dengan gradien konsentrasi dan gradien konsentrasi tidak berubah seiring perubahan waktu. Kondisi ini dinyatakan dalam hukum pertama Ficks :

$$J = -D \frac{dC}{dx} \dots\dots\dots 2.3$$

D adalah koefisien difusi dengan satuan meter persegi per sekon. Tanda (-) menandakan bahwa arah difusi menurun terhadap konsentrasi, dari konsentrasi tinggi ke rendah.

2.4.2 Difusi dalam kondisi *non steady-state*

Koefisien difusi pada kondisi ini tidak bergantung terhadap komposisi yang dikenal dengan hukum *Fick kedua* dinyatakan :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \right) \dots\dots\dots 2.4$$

Dimana laju perubahan konsentrasi berubah dengan waktu. Nilai dari $\frac{\partial c}{\partial t}$ dan $\left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \right)$ ditentukan secara eksperimen untuk menentukan nilai D pada tabel (Yono, 2013). Dimana D adalah difusifitas. Nilai D untuk setiap material, hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2. 3 Difusifitas Atom (D) (Yono, 2013).

No.	Atom yang Larut	Pelarut (struktur Induk)	Difusifitas, (m ² /detik)	
			500 ⁰ C	1000 ⁰ C
1.	Karbon	Besi kps	5 x 10 ⁻¹⁵	3 x 10 ⁻¹¹
2.	Karbon	Besi kpr	10 ⁻¹²	2 x 10 ⁻⁹
3.	Besi	Besi kps	2 x 10 ⁻²³	2 x 10 ⁻¹⁶
4.	Besi	Besi kpr	10 ⁻²⁰	3 x 10 ⁻¹⁴
5.	Nikel	Besi kps	10 ⁻²³	2 x 10 ⁻¹⁶
6.	Mangan	Besi kps	3 x 10 ⁻²⁴	10 ⁻¹⁶
7.	Seng	Tembaga	4 x 10 ⁻¹⁸	5 x 10 ⁻¹³
8.	Tembaga	Alumunium	4 x 10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁰ M ⁺
9.	Tembaga	Tembaga	10 ⁻¹⁸	2 x 10 ⁻¹³
10.	Perak	Perak (kristal)	10 ⁻¹⁷	10 ⁻¹² M
11.	Perak	Perak (batas butir)	10 ⁻¹¹	-
12.	Karbon	Titanium htp	3 x 10 ⁻¹⁶	2 x 10 ⁻¹¹

2.4.3 Temperatur

Tempertur dalam difusi sangat mempengaruhi koefisien dan laju difusi. Pengaruh temperatur terhadap koefisien difusi dijelaskan melalui persamaan berikut :

$$D = D_o \exp\left(-\frac{Q_d}{RT}\right) \dots\dots\dots 2.5$$

Dimana D_o adalah koefisien difusi pre-eksponensial (m^2/s), Q_d adalah energi aktivasi pada difusi yang merupakan energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan gerak difusi pada suatu mol atom. R adalah konstanta gas sebesar 8,31 J/mol.K dan T adalah temperatur mutlak (K).

2.5 Perlakuan Panas dan Perlakuan Permukaan.

Perlakuan panas (*heat treatment*) merupakan suatu proses pemanasan dan pendinginan yang dilakukan pada suatu paduan logam bertujuan untuk memperoleh suatu sifat tertentu seperti meningkatkan kekuatan, kekerasan, keuletan, ketangguhan, atau malah melunakkan, bahkan juga memperbaiki sifat tahan korosi dan sifat kelistrikan/kemagnetannya. Terdapat banyak macam proses perlakuan panas dengan parameter yang berbeda, misalnya temperatur

pemanasan, waktu tahan, laju pendinginan dan lain-lain (Suherman, 2003). Menurut jenis perlakuan panas digolongkan menjadi 2 jenis, yakni:

1. Mendekati Kesetimbangan (*Near Equilibrium*)

Perlakuan panas ini bertujuan untuk melunakkan struktur kristal dan menghaluskan butir. Jenis dari perlakuan panas ini misalnya : *Annealing, Normalizing, Homogenizing, dan Spheroidizing*

2. Tidak setimbang (*Non Equilibrium*)

Perlakuan ini bertujuan untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan. Jenis perlakuan panas ini misalnya: *Hardening, Tempering, dan Surface Hardening (Carburizing, Nitriding, Cyaniding atau carbonitriding, Flame hardening, induction hardening)*.

Perlakuan permukaan (*Surface Treatment*) banyak digunakan dalam bidang rekayasa material untuk meningkatkan kualitas permukaan material sesuai keinginan. Perlakuan permukaan ini ditempuh melalui dua cara, yakni yang pertama dengan menambah unsur lain atau mengubah komposisi kimia dan yang kedua dengan cara mengubah fase atau struktur kristalnya melalui pemanasan pada temperatur tertentu kemudian diikuti dengan pendinginan secara cepat atau secara lambat, tergantung fase atau struktur kristal yang diinginkan (Tjipto, 2003).

Salah satu jenis perlakuan permukaan adalah pengerasan permukaan. Pengerasan permukaan merupakan suatu proses perlakuan panas untuk meningkatkan kekerasan pada permukaan bahan yang menjadikan bahan lebih tahan terhadap kelelahan (*fatigue*). Dengan demikian lapisan permukaan memiliki kekerasan yang tinggi sedangkan bagian dalam tetap seperti semula, dengan kekerasan rendah tetapi keuletan dan ketangguhannya tinggi. Kekerasan biasanya berhubungan erat dengan sifat tahan aus. Logam yang memiliki sifat lebih keras dan kuat biasanya lebih tahan aus tetapi juga lebih getas. Namun dalam beberapa hal keuletan dan ketangguhan ini juga diperlukan, disamping sifat tahan ausnya. Sehingga dilakukan pengerasan permukaan agar diperoleh permukaan yang keras, tahan aus dan bagian dalam masih ulet dan tangguh (Wahid, 2003).

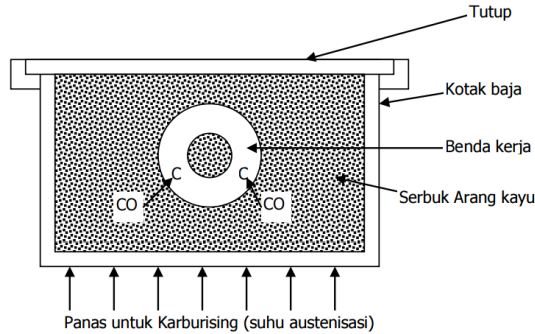
2.5.1 Metode Karburasi (*Carburizing*)

Carburizing atau karburasi adalah salah satu metode bertujuan untuk meningkatkan kekerasan pada baja dengan cara menambahkan

unsur karbon pada baja karbon rendah secara difusi, sehingga kadar karbon dari media *carburizing* akan masuk ke permukaan baja dan meningkatkan kadar karbon pada permukaan baja tersebut. Baja yang akan hasil *carburizing* biasanya baja dengan keuletan yang tinggi, dengan kadar karbon $\geq 0,35\% C$. Proses difusi ini dipengaruhi oleh temperatur pemanasan, waktu tahan dan bahan pengkarbonan. Difusi karbon umumnya dilakukan pada suhu diatas suhu kritis yaitu pada temperatur *austenit* dalam lingkungan yang mengandung banyak atom karbon murni. Pada suhu kritis logam memiliki afinitias terhadap karbon, sehingga atom karbon berdifusi masuk ke dalam baja dan mencapai kadar tertentu sampai kedalaman tertentu. Pada struktur ferit (besi α) dan austenit (besi γ) akan menampung atom karbon yang menyisip dan membentuk larutan padat. Atom karbon memiliki ukuran atom yang lebih kecil dari pada atom besi, sehingga memungkinkan atom karbon masuk kedalam kisi struktur ferit dan austenit secara intertisi (menyisip). Namun lain halnya dengan unsur paduan logam lain yang memiliki ukuran atom yang lebih besar dari ukuran atom besi, bila masuk kedalam kisi besi akan membentuk larutan padat substitusi (Kuswanto, 2010).

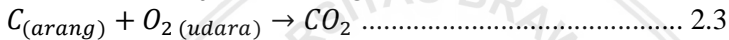
Terdapat 3 macam metode *carburizing* berdasarkan media yang digunakan, yaitu *pack carburizing* (karburasi padat) dengan menggunakan bahan karbon berbentuk padat/serbuk, *liquid carburizing* (karburasi cair) dengan bahan karbon berbentuk cair dan *gas carburizing* (karburasi gas) dengan menggunakan bahan karbon berbentuk gas.

Pack carburizing adalah metode *carburizing* paling sederhana dengan media bahan karbon berbentuk padat atau serbuk yang berasal dari arang. Prosesnya tertutup, dimana bahan yang akan hasil *carburizing* diletakkan didalam suatu kotak dan ditimbun dengan media karburasi (serbuk), kemudian kotak ditutup rapat (kedap udara) dan dipanaskan pada suhu austenisasi selama beberapa jam. Paduan besi-karbon memiliki bentuk kisi kristal *face centered cubic* (fcc) atau kubik pemusatan sisi, dimana bentuk kisi ini memiliki jarak antar atom lebih besar sehingga memungkinkan atom karbon berdifusi secara intertisi dalam baja.



Gambar 2. 14 Proses pack karburasing (Budinski, 1979).

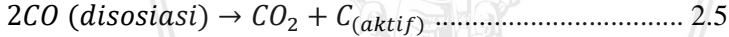
Dalam kotak carburizing selama pemanasan akan terjadi dua macam gas, yakni gas karbon dioksida (CO₂) dan gas monoksida (CO). Pada pemanasan awal, arang dengan udara yang terperangkap dalam kotak akan bereaksi menjadi CO, dengan reaksi:



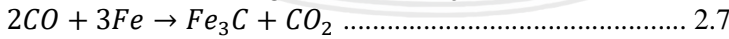
CO₂ yang telah terbentuk akan menguap, kemudain bereaksi dengan C_(arang) dari reaksi penambahan *carburizer* dan menghasilkan gas monoksida (CO). Dengan reaksi:



Selanjutnya CO ini dapat berdisosiasi menjadi C_(aktif).

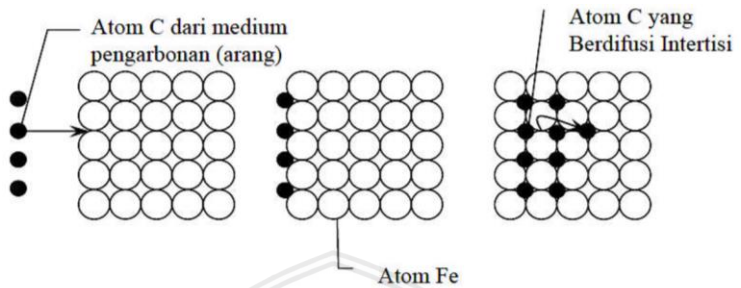


C_(aktif) merupakan atom karbon murni, yang nantinya dapat berdifusi ke dalam baja. Sedangkan CO₂ akan bereaksi dengan senyawa karburasi padat dan mengasilkan CO. Semakin tinggi temperatur pemanasan maka CO akan lebih banyak terbentuk daripada CO₂. Selama proses pengarbonan, reaksi akan selalu berlangsung ke kanan. Karbon monoksida bebas bereaksi dengan besi dan terjadi reaksi:



Karburasi akan berlanjut selama cukup banyak karbon hadir untuk bereaksi dengan kelebihan CO₂. Kandungan karbon untuk setiap jenis arang adalah berbeda, semakin tinggi kandungan karbon maka penetrasi karbon pada permukaan bahan semakin baik (Lakhtin, 1977). Karbon akan beradsorbsi pada permukaan Jika semakin banyak kandungan karbon pada permukaan, atom karbon akan berpindah lebih masuk menuju inti melalui mekanisme difusi.

Saat pemanasan struktur yang semula adalah ferite + perlit berubah menjadi austenit, karena pada saat pemanasan mampu melarutkan karbon cukup banyak, sehingga permukaan baja akan menyerap karbon hingga mencapai batas jenuhnya.



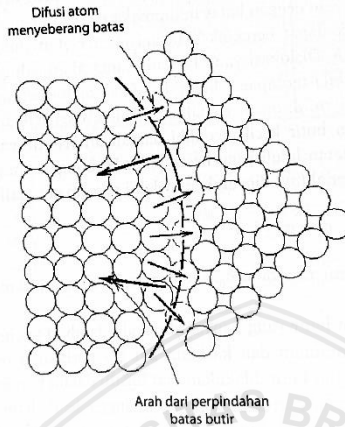
Gambar 2. 15 Mekanisme Difusi Intertisi (Aniq & Ahmad, 2007).

2.6 Pertumbuhan Butir

Logam padat mengandung banyak sekali butiran, yang masing-masing merupakan kristal tersendiri. Logam dengan butiran halus lebih kuat pada suhu rendah dan lebih lemah pada suhu tinggi dibandingkan dengan logam berbutir kasar. Hal ini ditimbulkan oleh banyaknya daerah batas butir. Pertumbuhan butir dalam logam, dipengaruhi oleh suhu jika suhu meningkat maka pergerakan atom semakin meningkat dan akibatnya butir dalam logam semakin besar. Gaya pendorong untuk pertumbuhan kristal adalah energi yang dilepaskan sewaktu atom bergerak melintasi batas butir dari arah butir dengan permukaan cembung ke butir dengan permukaan cekung. Rata-rata atom akan terkoordinir dengan sejumlah atom tetangga yang lebih banyak pada jarak antar atom. Sehingga batas butir akan bergerak ke pusat garis lengkung, karena butir yang kecil cenderung untuk mempunyai permukaan yang lebih cembung, dibandingkan dengan butir yang besar, maka butir kecil akan lenyap termakan oleh butir yang besar seperti Gambar 2.14.

Laju pertumbuhan tergantung sekali pada suhu. Peningkatan suhu dapat mengakibatkan meningkatnya energi termal, yang kemudian mempercepat difusi atom melalui batas butir, dari butiran yang kecil menuju yang lebih besar. Penurunan suhu akan menghambat pergerakan batas butir akan tetapi tidak dapat mengembalikan reaksi (Vlack,

1981). Pada saat *carburizing* baja dipanaskan pada suhu di daerah austenit, sehingga ada kemungkinan terjadinya pertumbuhan butir yang berlebihan yang sering disebut *coarse grained steel* (Suherman, 2003).



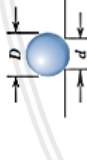









Gambar 2. 16 Pergerakan batas butir. atom-atom bergerak menuju butir dengan permukaan cekung, dimana permukaan cekung lebih stabil (Vlack, 1981).

2.7 Pengujian Material

2.7.1 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan merupakan salah satu pengujian yang seringkali dipakai, karena dapat dilakukan pada benda uji yang kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi. Uji kekerasan pada material sangat penting khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (*Frictional Force*). Didalam aplikasi manufaktur, material diuji bertujuan untuk riset karakteristik suatu material baru dan analisa mutu untuk memastikan kualitas suatu material. Pengujian kekerasan dilakukan dengan memberi penekanan (penetrasi) pada benda uji dengan beban tertentu dan mengukur bekas hasil penekanan yang terbentuk pada permukaan benda uji. Kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban identasi atau penetrasi hingga terjadi deformasi plastis (Callister & Rethwisch, 1991).

Tabel 2. 4 Macam-macam teknik pengujian kekerasan (Callister, 2007).

Uji	Identor	Bentuk indentor		Beban	Rumus Kekerasan
		Tampak samping	Tampak atas		
Brinell	10 mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers Microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1,854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14,2P/l^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	Diamond cone: 1 1 1 1 $\frac{16}{8}, \frac{4}{2}$ In diameter steel spheres			60 kg 100 kg 150 kg	Rockwell
				15 kg 30 kg 45 kg	Superficial Rockwell

Terdapat beberapa macam metode pengujian kekerasan, salah satunya adalah *Vickers*. Pengujian kekerasan dengan metode *vickers* memiliki beberapa keuntungan yakni dapat dilakukan pada benda keras maupun lunak dengan benda uji yang relatif kecil dan tipis dengan beban indentor yang disesuaikan, selain itu kerusakan akibat bekas penekanan yang dihasilkan relatif kecil.

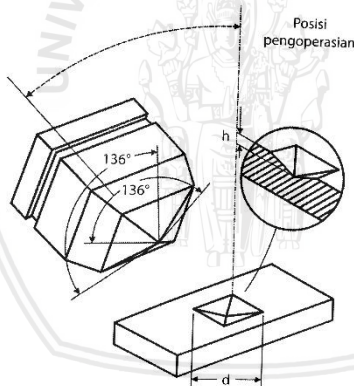
Indentor pada metode *vickers* berbentuk intan menyerupai piramida dengan sudut bidang saling berhadapan sebesar 136° . Angka kekerasan *vickers* (VHN) merupakan angka kekuatan benda uji terhadap beban dibagi luas penekanan. Beban yang digunakan pada metode ini berkisar 1-120 kg tergantung kekerasan logam yang diuji. Luas dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. VHN dapat ditentukan dengan persamaan:

$$VHN = \frac{2P \sin(\frac{\theta}{2})}{d^2} = \frac{(1,854)P}{d^2} \dots\dots\dots 2.9$$

Dengan : P = beban yang digunakan (kg)

D = panjang diagonal rata-rata (mm)

θ = sudut antara permukaan intan yang berhadapan yakni 136°



Gambar 2. 17 Pengujian Vickers (Standart Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials, 2002).

Tabel 2. 5 Konfigurasi Kekerasan

Vickers 50 kg Hv	Brinell HB 10m beban bola 3000 gf		Rockwell			
	Bola	Bola tungsten karbida	Skala A 60 kgf diamond brale HRA	Skala B 100 kgf 1/16 dalam bola HRB	Skala C 150 kgf diamond brale HRC	Skala D 100 kgf diamond brale HRD
117	111			65,7		
122	116			67,8		
127	121			69,8		
130	124	124		71,2		
140	133	133		75,0		
150	143	143		78,7		
160	152	152		81,7	0,0	
170	162	162		85,0	3,0	
180	171	171		87,1	6,0	
190	181	181		89,5	8,5	
200	190	190		91,5	11,0	
210	200	200		93,4	13,4	
220	209	209		95,0	15,7	
230	219	219		96,7	18,0	
240	228	228	60,7	98,1	20,3	40,3
245	233	233	61,2		21,3	41,1
250	238	238	61,6	99,5	22,2	41,7
255	243	243	62,0		23,1	42,2
260	247	247	62,4	101,0	24,0	43,1
265	252	252	62,7		24,8	43,7
270	256	256	63,1	102,0	25,6	44,3
275	261	261	63,5		26,4	44,9
280	265	265	63,8	103,5	27,1	45,3

2.7.2 Mikroskop optik

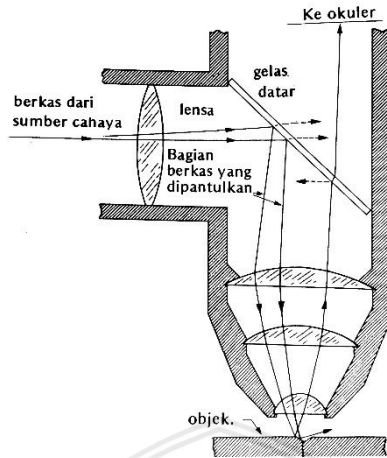
Pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengetahui karakteristik permukaan specimen hasil *pack carburizing* sudah terlapsi atau belum, karena dengan penambahan karbon secara difusi

akan mengakibatkan penambahan kekerasan pada permukaan logam (Sri, dkk, 2017).

Metalografi merupakan suatu metode yang dilakukan untuk memperoleh Gambar yang menunjukkan struktur mikro dari suatu material. Dari hasil pengujian ini dapat diketahui lebih jelas batas-batas butir dari struktur logam. Batas butir memiliki lima derajat kebebasan yakni ditunjukkan dengan besar bentuk, orientasi butirnya, jumlah fase, proporsi dan distribusinya. Adapun manfaat dari pengujian struktur mikro adalah mempelajari hubungan antara sifat-sifat bahan dengan struktur dan cacat pada bahan, selain itu memperkirakan sifat bahan jika sudah diketahui hubungan tersebut.

Analisis mikro bertujuan untuk menganalisa struktur bahan dengan pembesaran tertentu. Dari analisis tersebut dapat diamati ukuran butir, cacat bahan akibat deformasi dan perbedaan komposisi. Struktur mikro sangat mempengaruhi sifat fisis dan mekanis dari suatu bahan (Wisnujati, 2017).

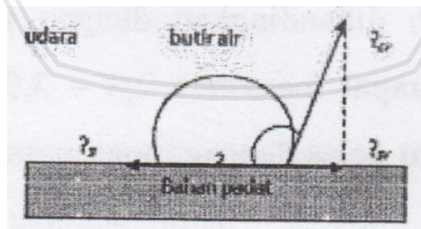
Sebelum melakukan pengujian struktur mikro terdapat beberapa perlakuan/tahapan yang perlu dilakukan, yang pertama specimen uji dipotong sesuai dengan bagian yang akan diamati. Kemudian penghalusan permukaan specimen uji akibat proses pemotongan dan juga untuk menghilangkan goresan dengan menggunakan kertas gosok, tahapannya dari ukuran kecil ke besar dan perlu diperhatikan arah gosok tiap tahap harus diubah. Selanjutnya tahapan pemolesan, tahap ini menghasilkan permukaan specimen yang mengkilap, dengan menggunakan kain yang diolesi autosol. Permukaan ini dilakukan dengan satu arah agar tidak terjadi goresan. Proses pengetsaan (*etching*) merupakan proses membuka pori-pori permukaan bahan agar terlihat saat diamati dimikroskop. Proses ini dilakukan dengan mencelupkan bahan kedalam larutan etsa (larutan kimia). Perlu diperhatikan dalam pengetsaaab tidak boleh terlalu kuat agar tidak terjadi kegosongan pada specimen selain itu larutan juga harus baru. Setelah selesai bahan dicuci hingga larutan etsa hilang, dikeringkan dan siap untuk diamati di mikroskop (Robbina, 2012).



Gambar 2. 18 Pengujian struktur mikro dengan mikroskop (Vlack, 1981).

2.7.3 Uji Hirofobisitas

Uji hidrofobisitas merupakan pengukuran sudut kontak suatu bahan untuk mengetahui sifat permukaan bahan yakni hidrofilik dan hidrofobik. Sudut kontak merupakan sudut yang dibentuk antara permukaan bahan uji dengan air destilasi yang ditetaskan ke permukaan bahan, dimana tetes air yang terbentuk akan diproyeksikan pada layar dan membentuk sudut. Pada layar akan diketahui hubungan antara tegangn permukaan bahan dengan udara dan air, seperti Gambar 2. 19 .



Gambar 2. 19 Ilustrasi sudut kontak

Sudut kontak yang terbentuk diklasifikasikan menjadi 3 kelompok yakni sudut kontak $< 30^\circ$ bersifat hidrofilik (basah atau suka air), sudut kontak $30^\circ - 89^\circ$ bersifat basah sebagian (*partially wetted*), sudut kontak

> 90° bersifat hidrofobik (menolak air). Sudut kontak yang terbentuk dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya adalah kekasaran permukaan (M.Toni, Berahim, & Haryono, 2012). Pengukuran sudut kontak akan menghasilkan 2 sudut yang nantinya akan diolah sesuai Persamaan 2.10 yang menghasilkan sudut kontak suatu permukaan bahan dan kemudian diklasifikasikan sesuai sudut kontak yang dihasilkan.

$$Sudut\ kontak = \frac{Sudut\ kanan - Sudut\ kiri}{2} \dots\dots\dots 2.10$$



BAB III

METODE PENELITIAN

1.1 Waktu dan Tempat

1.1.1 Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan selama kurang lebih enam bulan terhitung mulai dari awal bulan november 2017 sampai dengan akhir April 2018.

1.1.2 Tempat Pelaksanaan

Tempat penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika, Laboratorium Analisis Material Jurusan Fisika, Laboratorium Biofisika Jurusan Fisika, Laboratorium Sensor Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya dan Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

1.2 Peralatan dan Bahan

1.2.1 Alat

Pada penelitian digunakan beberapa alat yaitu sebagai berikut: alat pemotong baja, parang, bak instrument, clay, sarung tangan, penjapit, loyang, alat penumpuk, saringan 50 mesh dan 150 mesh, sendok, glove, masker, plastik pembungkus (ziplock), label, spidol, tisu, gelas ukur, spatula, kertas saring, kertas pH, kertas gosok 320, 500, 1000, 2000, 5000, *hairdryer*, keramik, pipet, tabung reaksi, oven, neraca, mesin tanur (*furnace*), *ultrasonic cleaner* serial no: 0212016219, *Microscope Optic DP273*, *Micro Vickers Hardeness Tester TH712*, dan sudut kontak.

1.2.2 Bahan

Bahan penelitian yang digunakan antara lain : Baja AISI 316L, serbuk arang bambu, larutan Na_2CO_3 , pasta gigi pepsodent, larutan basa yakni sabun sunlight, aquadestilat, *aluminium foil*, HCl, HNO_3 , autosol.

1.3 Prosedur Penelitian

1.3.1 Pembuatan Uji

1.3.1.1 Persiapan Spesimen Uji

Speimen baja AISI 316L yang berbentuk lembaran dengan tebal 0,1 mm dipotong persegi berukuran 2cm x 2cm menggunakan alat pemotong logam. Kemudian bekas potongan pada specimen diratakan dengan cara menggosoknya dengan kertas gosok no. 320.

Selanjutnya sebelum dilakukan *carburizing* terdapat proses pencucian specimen bertujuan untuk menghilangkan kotaran yang menempel pada baja. Alat yang digunakan adalah *Ultrasonic cleaner*, sabun (*sunlight*), aquades, gelas ukur, penjepit, tisu dan *hairdyer*. Pertama, dibuat air sabun (*sunlight*) dengan konsentrasi rendah pada gelas ukur. Kemudian baja dimasukkan kedalam gelas ukur tersebut dan diletakkan dalam alat *ultrasonic cleaner* waktu diatur selama 2 menit. Setelah selesai, specimen dicuci kembali dengan aquades dengan perlakuan yang sama. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan sisa busa pada permukaan specimen. Kemudian specimen diangkat menggunakan penjepit, lalu dikeringkan dengan *hairdyer* hingga benar-benar kering dan disimpan pada plastik tertutup.

1.3.1.2 Pembuatan Karbon dari Bambu

a. Persiapan bambu

Pertama disiapkan terlebih dahulu bambu yang telah dipotong-potong dengan ukuran yang seragam dengan menggunakan parang, kemudian dijemur dibawah terik matahari selama kurang lebih 2 hari. Setelah bambu dijemur, bambu dikeringkan lagi dengan menggunakan oven dengan suhu 120⁰C selama satu jam untuk meminimalisir kadar air yang terkandung dalam bambu. Bambu yang telah kering siap dikarbonisasi.

b. Karbonisasi

Sebelum dikarbonisasi bambu yang telah kering tersebut dibungkus dengan alumunium foil dan diletakkan pada suatu kotak sebagai wadah dan ditutup dengan rapat. Selanjutnya dikarbonisasi dalam tanur (*furnace*) suhu 500⁰C selama \pm 1 jam.

c. Penghalusan

Arang bambu yang telah selesai didiamkan hingga dingin serta dipisahkan arang bambu dari abu dan sisa yang belum menjadi arang. Arang yang dihasilkan dihaluskan dengan cara ditumbuk hingga menjadi serbuk, kemudian disaring dengan ayakan 50 dan 150 *mesh* untuk mendapatkan serbuk/butiran yang diinginkan.

d. Pemurnian

Untuk pemurnian karbon menggunakan larutan kimia, pertama karbon direndam dalam larutan Na_2CO_3 selama 24 jam untuk menghilangkan zat pengotor pada permukaan karbon yang menghambat keaktifan karbon.

Setelah itu specimen ditiriskan dan kemudian dicuci menggunakan aquades untuk menetralkan pH, proses ini menggunakan *magnetic stirrer*. Untuk satu jam sekali cairan aquades diganti. Proses ini dilakukan hingga pH netral. Setelah didapatkan pH netral, karbon disaring menggunakan kertas saring dan didapatkan endapan karbon.

e. Pengeringan Karbon

Untuk menghilangkan kadar air pada endapan karbon yang dihasilkan dari pemurnian, maka endapan tersebut dikeringkan dengan menggunakan oven dengan suhu 105°C yang dipanaskan selama 2 jam. Kemudian serbuk tersebut disimpan pada plastik (ziplock) dan ditutup rapat agar tidak terjadi oksidasi.

1.3.1.3 Carburizing

Pertama disiapkan keramik, tanah liat, karbon yang telah dimurnikan dan baja AISI 316L. Sebelumnya keramik dicuci terlebih dahulu dan dikeringkan. Lalu karbon ditimbang masing-masing perlakuan seberat 5 gram.

Karbon dan baja dimasukkan ke dalam keramik, dengan baja diselimuti oleh karbon. Keramik ditutup dengan penutup dan dilapisi oleh tanah liat agar benar-benar rapat. Keramik tersebut dimasukkan kedalam tungku tanur (*furnace*). *Furnace* dinyalakan dan diatur dengan suhu 700°C ; 750°C ; 800°C ; 850°C . Pemanasan dilakukan selama 8 dan 16 jam terhitung ketika *furnace* mencapai suhu yang telah ditentukan.

Sehingga terjadi 8 kali perlakuan dengan masing-masing perlakuan terdapat 2 keramik yang beisi karbon dengan ukuran butir yang berbeda, yakni 50 mesh dan 150 mesh. Setelah selesai, furnace dimatikan dan keramik dидiamkan hingga suhu pada dalam furnace mencapai suhu ruang. Kemudian baja dikeluarkan dan dipisahkan dari karbon hasil *carburizing*. Baja disimpan dengan menggunakan aluminium foil, sedangkan karbon setelah *carburizing* disimpan pada plastik *ziplock*.

Tabel 3. 1 Jumlah specimen yang digunakan pada penelitian dengan variasi suhu, ukuran butir dan waktu pemanasan.

ukuran waktu		suhu				Total
		700°C	750°C	800°C	850°C	
50	16 jam	2	2	2	2	8
	8 jam	2	2	2	2	8
150	16 jam	2	2	2	2	8
	8 jam	2	2	2	2	8
Total						32

1.3.2 Pengujian Specimen

1.3.2.1 Uji kekerasan

Sebelum melakukan pengujian, permukaan specimen digosok terlebih dahulu untuk menghilangkan karbon yang menempel pada permukaan akibat perlakuan *carburizing*. Specimen digosok hingga mendapatkan permukaan yang rata sehingga dapat diamati pada mikroskop uji kekerasan. Specimen digosok menggunakan kertas gosok no. 320, 500, 1000, 2000 dan 5000. Dimana semakin kecil nomer kertas gosok maka semakin kasar kertas gosok tersebut, sebaliknya semakin besar nomer kertas gosok maka semakin halus kertas gosok tersebut. Specimen digosok dengan cara bertahap mulai nomer gosok paling kecil hingga yang terbesar, hingga didapatkan permukaan yang rata. Kemudian specimen diberi autosol untuk membersihkan hasil gosokkan tersebut.

Alat yang digunakan uji kekerasan adalah *Micro Vickers Hardness Tester TH712*. Dimana cara pengoperasiannya, baja diletakkan pada tepat specimen lalu dilihat permukaan specimen dengan menggunakan mikroskop untuk menentukan titik mana yang akan diuji. Sebelumnya ditentukan terlebih dahulu beban indentor dan

waktu yang digunakan dalam pengujian. Pada penelitian ini menggunakan beban sebesar 50 gf/ 0,5N dengan waktu uji 15 detik. Setelah diatur alat akan bekerja dan menghasilkan data d_1 dan d_2 , dimana d tersebut merupakan diagonal, karena indentor yang digunakan berbentuk bujur sangkar. Setelah didapatkan d_1 dan d_2 alat akan menghitung besar kekerasan sesuai persamaan 2.4 dan didapat nilai kekerasan masing-masing specimen.

1.3.2.2 Uji mikroskop optik

Pengujian struktur mikro bertujuan untuk melihat susunan atom dalam specimen. Proses ini dimulai dari menggosok permukaan specimen hingga didapat permukaan yang rata dan mengkilat. Setelah itu dilakukan etsa atau pemberian larutan kimia bertujuan untuk membuka pori-pori permukaan specimen agar lebih mudah dalam mengamati struktur atomnya. Pada penelitian ini menggunakan larutan HCl, HNO₃, dan aquades. Ketiga larutan tersebut dilarutkan dengan perbandingan 2:1:1. Setelah itu specimen yang telah dicuci dengan aquades dicelupkan pada larutan etsa selama 90 detik dan dicuci kembali dengan aquades untuk membersihkan larutan etsa yang masih menempel pada permukaan. Kemudian dikeringkan dan siap untuk diuji.

Alat uji yang digunakan adalah *Microscope Optic DP273*. Untuk dapat mengamati struktur atom, mikroskop dihubungkan ke layar monitor. Perbesaran yang digunakan adalah 500x.

1.3.2.3 Uji sudut kontak

Uji sudut kontak merupakan uji permukaan untuk menentukan sifat permukaan specimen bersifat hidrofobik atau hidrofilik. Uji ini dipengaruhi oleh kekasaran suatu permukaan specimen. Sehingga specimen digosok hingga permukaan menjadi rata. Setelah itu specimen dicuci dengan menggunakan aquades dan dikeringkan dengan *hairdye*, agar terbebas dari debu atau zat asing lainnya.

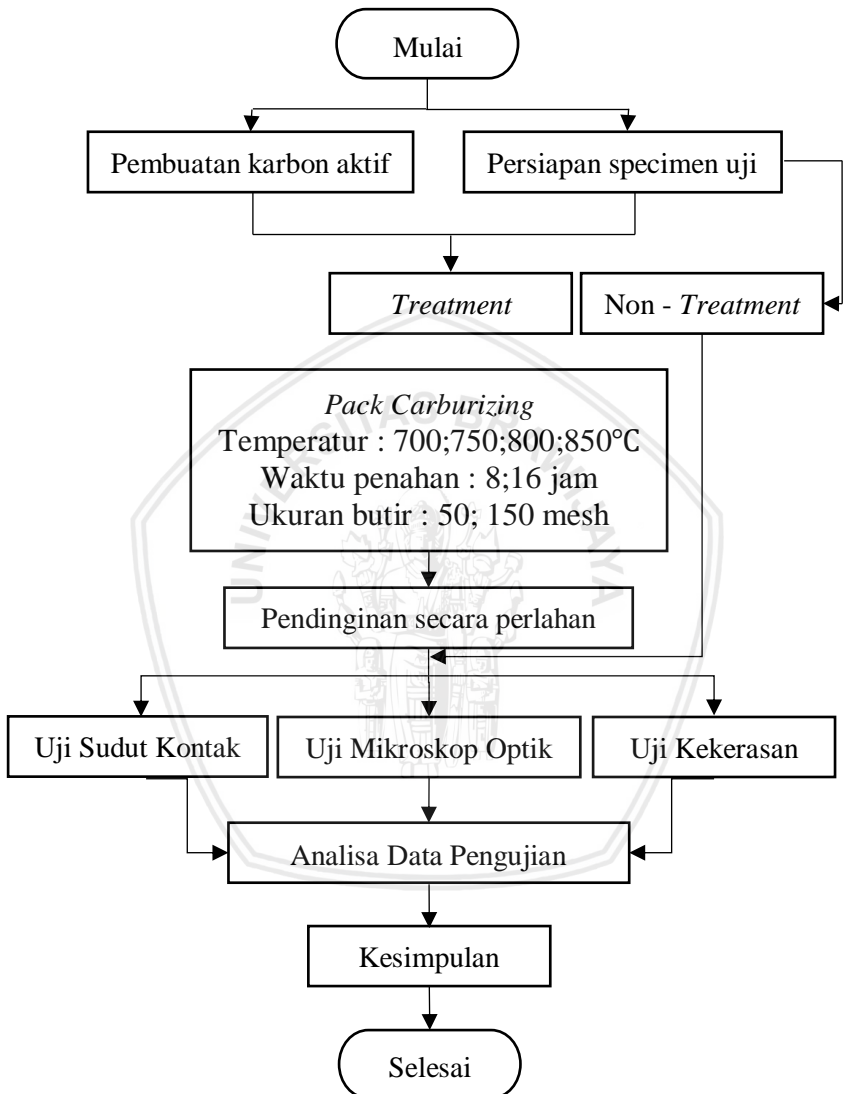
Alat yang digunakan adalah uji kontak type dengan komponen utamanya kamera digital untuk memotret lengkungan yang dihasilkan dari tetesan air dipermukaan specimen. Langkah pengukuran yang pertama adalah membuka aplikasi contact angle measurement untuk mengamati cairan pada permukaan kemudian diatur sumber cahaya

yang digunakan, karena pada alat terdapat 3 sumber cahaya yakni dari depan, kanan dan kiri. Cahaya diatur hingga didapat Gambar lengkungan air terlihat jelas. Specimen diposisikan sedemikian rupa hingga didapat permukaan specimen tampak segaris/sejajar. Pengukuran ini menggunakan tetesan air sebanyak 20 μ l yang kemudian menghasilkan lengkungan yang memiliki 2 sudut. Selanjutnya hasil lengkungan tersebut difoto, dan hasil pengujian dimasukkan dalam aplikasi contact angel untuk menghitung besar sudut yang didapat. Saat pengambilan foto, penggulangan dilakukan sebanyak 5x dan dipilih hasil foto yang paling baik sebagai data sebanyak 3.



1.4 Diagram Alir

Secara keseluruhan diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 3.1 berikut :



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pembuatan Karbon Murni

Pada penelitian ini dilakukan metode *pack carburizing* untuk meningkatkan kekerasan dengan menambahkan karbon pada permukaan. Karbon yang digunakan biasanya dari bahan yang memiliki kandungan karbon tinggi, seperti arang kayu, arang tulang, arang batok kelapa dan sebagainya. Arang dibuat menjadi serbuk untuk peningkatan efektifitas saat pengkarbonan. Menurut (Kuswanto, 2010), ukuran butir pada karbon dapat mempengaruhi difusi karbon pada proses *carburizing*. Pada proses *carburizing* atom karbon akan berubah menjadi gas setelah terjadi kenaikan temperatur, yang dipengaruhi oleh ukuran luasan permukaan. Semakin kecil ukuran karbon maka akan semakin mudah dan lebih cepat menjadi zat gas.

Pada penelitian ini 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*. Penelitian (Ngakan & Putra, 2016), membandingkan kemampuan difusi dari sumber karbon yang berbeda untuk melihat keefektifan dalam menghasilkan kekerasan dan kedalaman kekerasan. Dalam penelitiannya didapat hasil bahwa karbon bambu mampu meningkatkan kekerasan permukaan cukup tinggi dan semakin ke material induk menghasilkan kekerasan dan kedalaman paling tinggi dari sumber karbon lainnya. Dalam hal ini proses *carburizing* sangat bergantung pada karakteristik dan kemampuan difusi dari sumber karbon.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan arang bambu sebagai sumber karbon untuk mengetahui keefektifan karbon arang bambu dalam proses *pack carburizing* dengan ukuran butir karbon sebesar 50 mesh (270 μm) dan 150 mesh (106 μm). Karbon dimurnikan terlebih dahulu agar didapat kandungan karbon murni, sehingga hasil *carburizing* akan maksimal.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. 1 (a) Bambu sebelum dikarbonasi (b) bambu setelah dikarbonisasi dan menjadi arang (c) karbon murni.

4.2 Analisa Hasil Carburizing

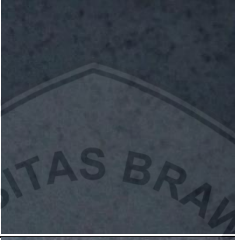
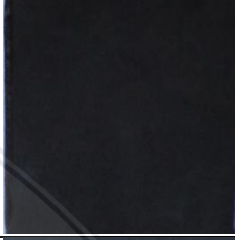
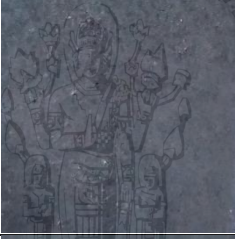
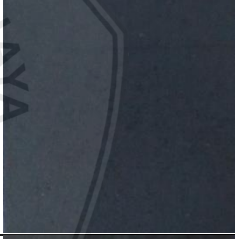

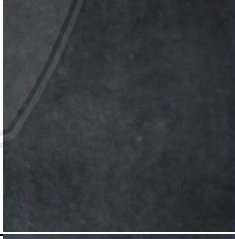
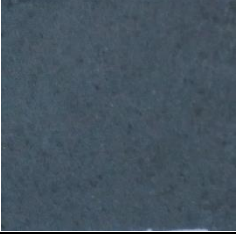
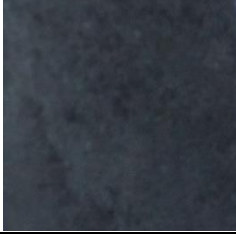
Pada penelitian ini menggunakan spesimen berupa baja karbon rendah yakni baja tahan karat AISI 316L. Dimana baja tersebut memiliki kandungan karbon relatif rendah yakni 0,030% C, sehingga tingkat kekerasannya rendah (Raharjo et al., 2015). Specimen baja dipotong dengan ukuran 2 cm x 2 cm dan tebal 0,1 mm. Berikut Gambar permukaan baja AISI 316L sebelum di *treatment*

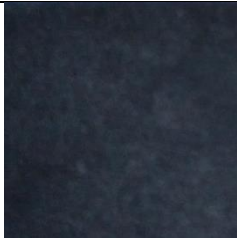
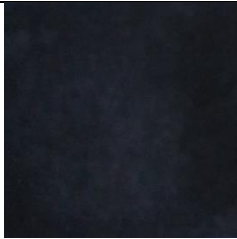
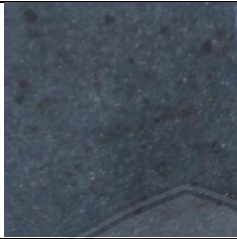







Gambar 4. 2 Permukaan baja tahan karat AISI 316L tanpa perlakuan

Pada penelitian ini terdapat 16 perlakuan yang berbeda, dengan 3 variasi perlakuan antara lain temperatur, waktu tahan dan ukuran butir. Variasi temperatur yang digunakan adalah 700°C, 750°C, 800°C dan 850°C, sedangkan variasi waktu tahan masing-masing 8 jam dan 16 jam. Dan variasi ukuran butirnya adalah 50 mesh dan 150 mesh. Tabel 4.1 adalah visualisasi baja hasil *carburizing*.

Tabel 4. 1 Visualisai baja tahan karat AISI 316L hasil *carburizing* berdasarkan temperatur, waktu penahanan dan ukuran butir.

Temperatur	Waktu penahanan	50 mesh	150 mesh
700	8 jam		
	16 jam		
750	8 jam		
	16 jam		

800	8 jam		
	16 jam		
850	8 jam		
	16 jam		

Dapat dilihat baja sebelum dilakukan *treatment* memiliki warna permukaan yang terang, sedangkan pada baja yang telah dilakukan *treatment* memiliki warna yang lebih gelap. Dapat diartikan bahwa baja yang memiliki permukaan lebih gelap kandungan karbonnya meningkat. Jika dilihat berdasarkan ukuran butir, hasil *treatment* dengan ukuran butir 150 mesh memiliki warna permukaan yang lebih gelap dari 50 mesh untuk semua variasi temperatur dan waktu tahan, kecuali pada temperatur 850°C dengan waktu tahan 8 jam ukuran 50 mesh lebih gelap daripada 150 mesh. Sedangkan jika dilihat dari waktu

tahan 8 jam memiliki warna permukaan lebih gelap daripada waktu penahanan 16 jam pada semua temperatur dan ukuran butir, kecuali pada *waktu tahan* 16 jam dengan temperatur 850°C memiliki warna permukaan lebih gelap daripada 8 jam. Dan jika dilihat berdasarkan temperatur, warna permukaan paling gelap didapatkan pada temperatur 700°C pada semua waktu tahan dan ukuran butir.

Dapat disimpulkan bahwa warna permukaan paling gelap terdapat pada temperatur 700°C dengan waktu tahan 8 jam pada ukuran butir 150 mesh. Sedangkan warna permukaan paling terang atau berwarna abu-abu didapat pada *waktu tahan* 8 jam dengan temperatur 850°C dan ukuran butir 150 mesh. Dalam hal ini permukaan yang lebih gelap belum tentu memiliki kandungan karbon lebih besar daripada permukaan yang lebih terang, karena mekanisme kerja dari karbon adalah berdifusi bukan hanya beradsorpsi. Permukaan yang gelap menandakan banyak karbon yang beradsorpsi (menempel) saja. Saat terjadi pemanasan karbon akan menempel (beradsorpsi) pada permukaan baja, setelah karbon memiliki energi yang cukup maka karbon akan berpindah dari permukaan menuju kedalam kisi baja. Sehingga pada permukaan akan digantikan oleh karbon yang lainnya. Dan setelah pemanasan selesai karbon yang belum memiliki energi yang cukup akan menempel pada permukaan, dan menyebabkan permukaan berwarna lebih gelap dan kasar (tidak rata). Sedangkan untuk bentuk permukaan baja setelah *carburizing* memiliki kekasaran permukaan yang relatif sama dan perbedaannya tidak terlalu signifikan baik pada permukaan yang lebih gelap ataupun lebih terang.

4.3 Analisa Uji Kekerasan

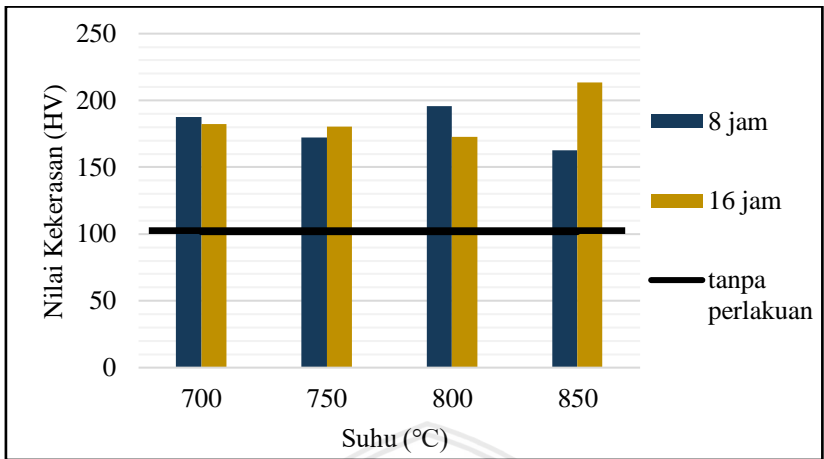
Uji kekerasan bertujuan untuk mengukur ketahanan bahan terhadap deformasi dengan memberi gaya tekan melalui sebuah indenter pada permukaan bahan, kemudian luas atau dimensi dari hasil penekanan tersebut diukur. Pada penelitian ini uji kekerasan dilakukan untuk mengetahui besar peningkatan kekerasan pada baja setelah dilakukan proses *carburizing*. Alat yang digunakan untuk uji kekerasan adalah *Micro Vicker Hardness Tester*, dengan beban sebesar 0,5 N. Uji kekerasan dilakukan pada setiap variasi temperatur, waktu tahan dan ukuran butir karbon. Terdapat 17 spesimen yang diuji yakni 16 spesimen hasil *carburizing* dan satu spesimen tanpa perlakuan. Pada

Tabel 4.2 menunjukkan hasil uji kekerasan specimen setelah *carburizing*.

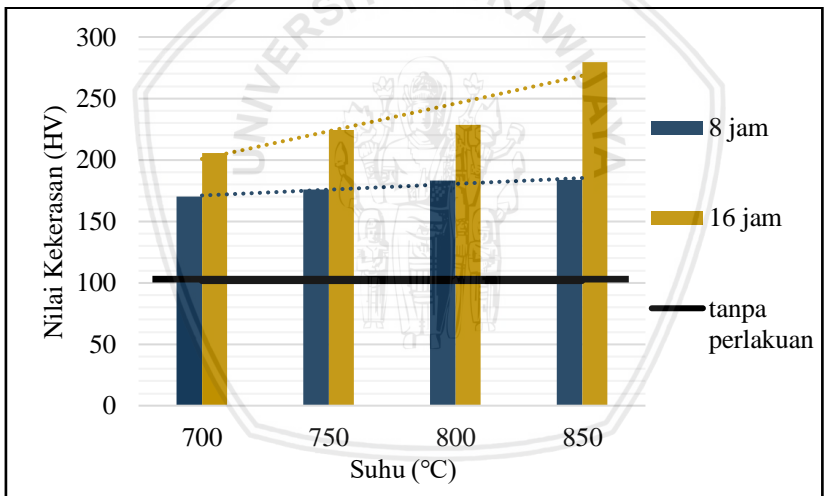
Tabel 4. 2 Nilai kekerasan baja hasil *carburizing*

Waktu	Ukuran karbon (mesh)	Temperatur (°C)	Kekerasan (HV)
8	50	700	187,73
		750	172,10
		800	195,60
		850	162,83
	150	700	170,10
		750	175,93
		800	182,97
		850	183,53
16	50	700	182,17
		750	180,30
		800	172,97
		850	213,30
	150	700	205,83
		750	224,37
		800	228,60
		850	279,50

Baja tanpa perlakuan memiliki nilai kekerasan sebesar 101,40 HV. Pada Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa baja hasil *carburizing* mengalami peningkatan kekerasan yang cukup signifikan, baik itu pada ukuran butir 50 mesh dan 150 mesh. Penjelasan tentang hubungan temperatur dengan kekerasan dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan 4.4 :



Gambar 4. 3 Nilai kekerasan sebagai fungsi temperatur pada variasi waktu dan ukuran butir karbon 50 mesh.



Gambar 4. 4 Nilai kekerasan sebagai fungsi temperatur pada variasi waktu dan ukuran butir karbon 150 mesh

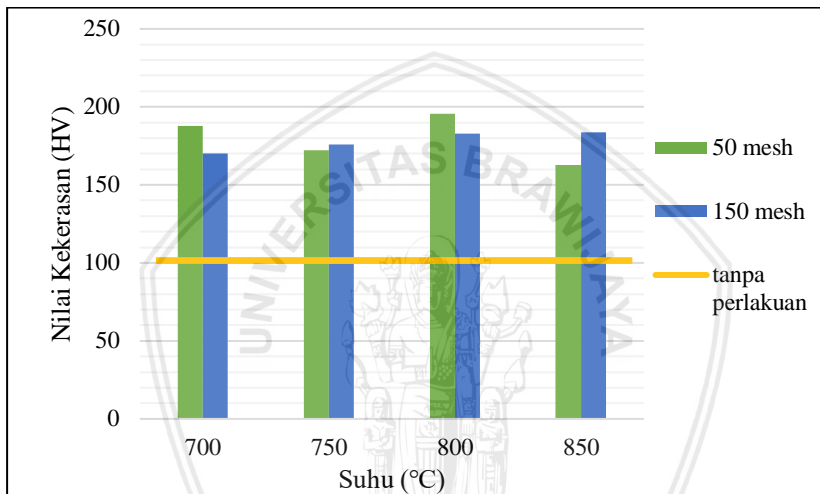
Berdasarkan grafik pada Gambar 4.3 dan 4.4 di atas dapat dilihat bahwa nilai kekerasan baja hasil carburizing mengalami peningkatan dari nilai kekerasan baja tanpa perlakuan. Jika dilihat berdasarkan temperturnya nilai kekerasan maksimum terdapat pada temperatur 850°C pada setiap ukuran butir baik 50 dan 150 mesh, kecuali pada

ukuran butir 50 mesh dengan waktu tahan 8 jam. Gambar 4.4 menunjukkan bahwa nilai kekerasan mengalami peningkatan terus menerus, seiring meningkatnya temperatur baik pada waktu tahan 8 dan 16 jam. Nilai kekerasan maksimum terjadi pada temperatur 850°C, sedangkan nilai kekerasan minimum terjadi pada temperatur 700°C. Akan tetapi pada Gambar 4.3 grafik menunjukkan pada waktu tahan 8 jam, nilai kekerasan mengalami penurunan pada temperatur tertentu, sama halnya dengan waktu tahan 16 jam. Namun pada waktu tahan 16 jam nilai maksimum terjadi pada temperatur tertinggi yakni 850°C.

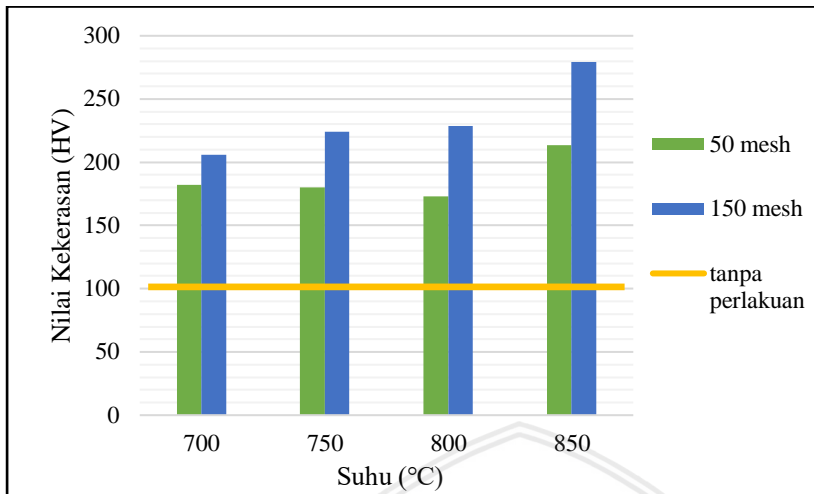
Berdasarkan teori difusi, temperatur mempengaruhi koefisien dan kecepatan difusi, dimana semakin tinggi temperatur menyebabkan difusivitas semakin tinggi, karena atom-atom memiliki energi termal (aktivasi) lebih tinggi, sehingga atom karbon lebih mudah terdifusi di antara rongga (celah) permukaan atom Fe. Selain itu temperatur dapat meningkatkan ketebalan difusi karbon dan konsentrasi karbon dalam spesimen. Seiring meningkatnya ketebalan difusi dan konsentrasi karbon, koefisien difusi karbon juga meningkat, sehingga kerapatan permukaan meningkat dan menyebabkan permukaan menjadi keras. Namun temperatur juga dapat menjadikan baja bersifat lebih lunak, karena pada saat *carburizing* baja dipanaskan pada suhu tinggi, sehingga ada kemungkinan terjadi pertumbuhan butir yang berlebihan yang sering disebut *coarse grained steel* (Wahid, 2003).

Jika dilihat berdasarkan waktu tahan, nilai kekerasan baja pada Gambar 4.4 dengan waktu tahan 16 jam selalu memiliki nilai kekerasan lebih tinggi daripada waktu tahan 8 jam. Hal ini dikarenakan lama waktu tahan juga mempengaruhi tingkat difusivitas yakni semakin lama waktu tahan maka karbon memiliki kesempatan untuk berdifusi lebih dalam memasuki matrik baja. Selain itu, panahanan pada pemanasan temperatur tinggi akan menyebabkan struktur atom menjadi homogen dan kelarutan karbon akan semakin banyak akibatnya kekerasan baja akan meningkat (Istiana, 2012). Akan tetapi grafik pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa waktu tahan 16 jam tidak selalu memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dari waktu tahan 8 jam. Pada temperatur tertentu yakni 700°C dan 800°C dengan waktu tahan 16 jam memiliki nilai kekerasan lebih kecil daripada waktu tahan 8 jam, karena lama waktu tahan juga dapat mempengaruhi kualitas dari kekerasan baja tersebut. Semakin lama waktu tahan, atom karbon akan memiliki kesempatan untuk berdifusi lebih dalam ke dalam matrik baja. Hal ini sesuai dengan

hukum kedua Fick menyatakan bahwa perubahan waktu sebanding dengan perubahan konsentrasi. Akan tetapi semakin lama waktu tahan pada proses *carburizing*, atom karbon akan lebih masuk kedalam matrik baja dan mengakibatkan pada permukaan baja kandungan karbonnya lebih sedikit daripada yang terdifusi. Hal ini yang menyebabkan nilai kekerasan pada permukaan menurun atau dapat dikatakan bahwa spesimen bersifat lebih lunak. Selain itu waktu tahan yang lebih lama pada temperatur tertentu akan menyebabkan pertumbuhan butir yang dominan daripada intertisi karbon dalam baja, sehingga butir yang dihasilkan lebih besar dan menyebabkan baja tersebut bersifat lunak.



Gambar 4. 5 Nilai kekerasan sebagai fungsi ukuran butir karbon pada variasi temperatur dan waktu penahanan 8 jam



Gambar 4. 6 Nilai kekerasan sebagai fungsi ukuran butir karbon pada variasi temperatur dan waktu penahanan 16 jam

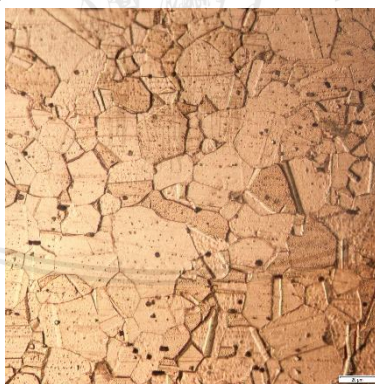
Grafik pada Gambar 4.5 dan 4.6 menunjukkan pengaruh ukuran butir terhadap nilai kekerasan baja hasil *carburizing*. Dapat dilihat bahwa ukuran butir karbon 150 mesh selalu mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya temperatur, sedangkan pada ukuran butir 50 mesh mengalami penurunan pada temperatur tertentu. Jika dibandingkan ukuran butir 150 mesh memiliki nilai kekerasan lebih besar dari pada nilai kekerasan pada ukuran butir 50 mesh, kecuali pada temperatur 700°C dan 800°C. Nilai kekerasan maksimum terdapat pada ukuran butir 150 mesh. Hal ini sesuai dengan proses dasar *carburizing* dimana ukuran karbon yang lebih kecil akan memudahkan proses pembebasan elemen difusi menjadi atom, sehingga jumlah elemen difusi akan meningkat dan mengalami kontak dengan permukaan baja untuk membentuk ikatan kimia. Adanya karbon yang lebih tinggi akan meningkatkan laju difusi karbon dan secara tidak langsung koefisien difusi juga meningkat (Istiana, 2012).

Pada saat pemanasan berlangsung atom karbon dari arang akan berubah menjadi gas sering meningkatnya temperatur, perubahan zat padat menjadi zat gas dipengaruhi oleh ukuran luasan permukaannya. Ukuran butir lebih kecil akan lebih mudah dan cepat untuk berubah menjadi zat gas (Kuswanto, 2010).

Kesimpulannya adalah nilai kekerasan maksimum terjadi pada temperatur 850°C dengan waktu tahan 16 jam dan ukuran butir 150 mesh yang mengalami peningkatan sebesar 175,6%, sedangkan nilai kekerasan terendah terjadi pada temperatur 850°C dengan waktu tahan 8 jam dan ukuran butir 50 mesh dengan peningkatan sebesar 60,6%. Semakin tinggi temperatur akan menyebabkan energi termal pada atom karbon meningkat sehingga atom karbon lebih mudah berdifusi, namun temperatur tinggi juga dapat menyebabkan pertumbuhan butir yang berlebihan akibatnya ukuran butir lebih besar dan menjadikan baja lebih lunak. Semakin lama waktu tahan maka atom karbon memiliki waktu yang cukup untuk berdifusi dan ukuran butir yang lebih kecil akan lebih cepat dan mudah menjadi gas dan membentuk ikatan kimia dengan permukaan baja.

4.4 Uji struktur mikro dan pengaruh ukuran butir

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui batas-batas butir dengan jelas dari struktur logam dan dapat memperkirakan sifat bahan dari struktur yang terlihat. Pengambilan foto mikro menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 500x. Berikut Gambar 4.7 adalah hasil foto struktur mikro dari baja tahan karat AISI 316L tanpa perlakuan.



Gambar 4. 7 Foto struktur mikro baja tahan karat AISI 316L tanpa perlakuan.

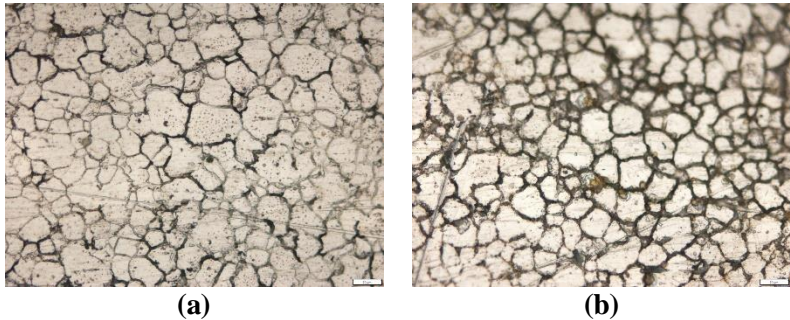
Baja tahan karat AISI 316L merupakan baja tahan karat Austenit (*Austenitic* tahan karat) yang tergolong pada tipe L dimana tipe ini memiliki kandungan karbon yang rendah, sehingga kekuatan

mekaniknya kurang baik. Berdasarkan Gambar 2.5 menunjukkan bahwa struktur mikro baja austenit ditunjukkan adanya fase austenite dengan ciri-ciri terdapat bidang kembar dan garis slip (Callister & Rethwisch, 1991). Hal ini juga dijumpai pada struktur mikro dari baja tahan karat AISI 316L tanpa perlakuan, dimana pada struktur mikro didapati bidang kembar dan garis slip.

Struktur mikro suatu bahan dipengaruhi oleh unsur paduan dan perlakuan panas yaitu temperatur pemanasan, waktu tahan dan laju pendinginan. Laju pendinginan lambat akan menghasilkan butiran kristal ferit dan perlit, sedangkan pemanasan dengan tempertur tinggi pada fase austenit banyak berpengaruh terhadap penyebaran ferit dan sementit (Wahid, 2003). Ferit adalah suatu larutan padat dengan kelarutan yang sangat kecil, sehingga bersifat lunak dan ulet, sedangkan sementit adalah besi karbida yang memiliki sifat keras namun rapuh. Perlit merupakan struktur berupa lamel-lamer ferit dan sementit yang besalang-seling memiliki sifat sangat keras dan kuat. Perlit terbentuk ketika baja memiliki kadar karbon yang cukup sekitar 0,5% C dengan diikuti laju pendinginan lambat. Pada mikroskop, ferit dicirikan dengan butir berwarna putih atau berwarna terang, sedangkan sementit dicirikan berwarna gelap atau kehitaman pada batas butir.

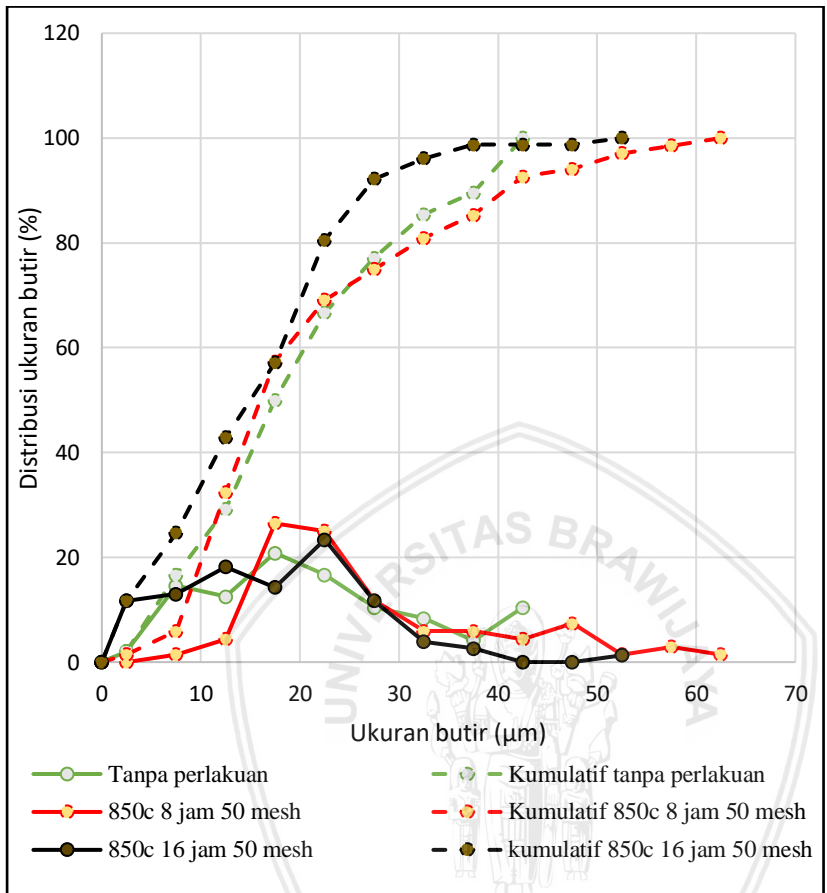
Baja yang mengalami pemanasan dan pendinginan akan mengalami perubahan fase yang diikuti dengan perubahan kisi ruang. Pada fase austenit yang memiliki struktur kristal FCC dengan batas kelarutan yang cukup besar yakni 0,8% C akan berubah menjadi ferit dengan struktur kristal BCC. Transformasi ini dimulai dengan terbentuknya inti-inti ferit pada batas butir austenit, karena ferit memiliki kemampuan melarutkan karbon yang sedikit sekali maka austenit harus mengeluarkan karbonnya sehingga austenit kekurangan karbon dan berubah menjadi ferit. Karbon yang keluar dari austenit akan menuju batas butir dan membentuk sementit, sehingga warna hitam pada batas butir diindikasikan bahwa karbon telah terintersisi pada batas butir.

4.4.1 *Carburizing* dengan variasi ukuran butir 50 mesh



Gambar 4. 8 Struktur mikro baja hasil carburizing pada temperatur 850°C dengan ukuran butir 50 mesh (a) waktu tahan 8 jam (b) waktu tahan 16 jam.

Pada Gambar 4.8 merupakan struktur mikro baja AISI 316L hasil *carburizing*, didapat bahwa pada suhu 850°C telah terjadi perubahan struktur mikro. Dimana butir austenit berubah menjadi ferit dan sementit pada batas butirnya. Sementit lebih banyak ditemui pada struktur mikro baja setelah hasil carburizing pada 850°C 16 jam 50 mesh. Batas butir berwarna hitam diindikasikan bahwa karbon telah terdifusi pada batas butir. Jika dilihat pada Gambar 4.8 ukuran butir yang didapat cenderung sama, namun pada batas butir dengan temperatur pemanasan 850°C 16 jam 50 mesh lebih hitam akibat intersisi atom karbon pada batas butir. Gambar 4.9 berikut adalah Gambar grafik dari distribusi ukuran butir baja setelah hasil carburizing dengan suhu 850°C 8 jam 50 mesh dan 850°C 16 jam 50 mesh.



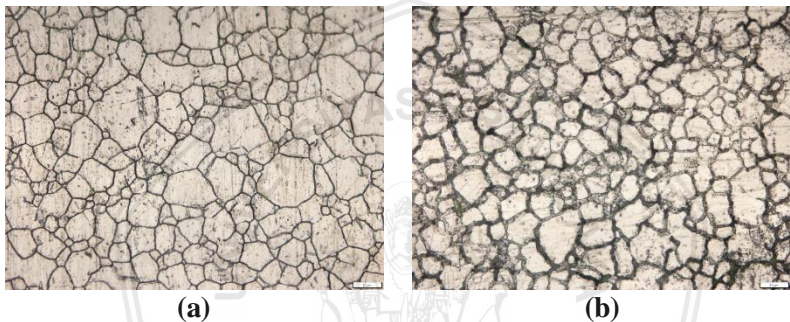
Gambar 4. 9 Grafik distribusi ukuran butir baja tahan karat 316L sebelum dan setelah hasil carburizing pada ukuran butir lolos ayakan 50 mesh.

Pada temperatur pemanasan 850°C, waktu tahan 8 jam dan ukuran butir yang lolos ayakan 50 mesh menghasilkan nilai kekerasan sebesar 162,53 HV dengan distribusi butir sebesar 75,00 % pada ukuran butir dibawah 30 µm. Nilai kekerasan pada pemanasan 850°C, waktu tahan 16 jam dan ukuran butir lolos ayakan 50 mesh diperoleh sebesar 213,3 HV, dengan distribusi butir sebesar 92,21% pada ukuran butir dibawah 30 µm. Dari persentase distribusi butir pada pemanasan 850°C

16 jam 50 mesh memiliki distribusi yang lebih besar dari pada pemanasan 850°C 8 jam 50 mesh.

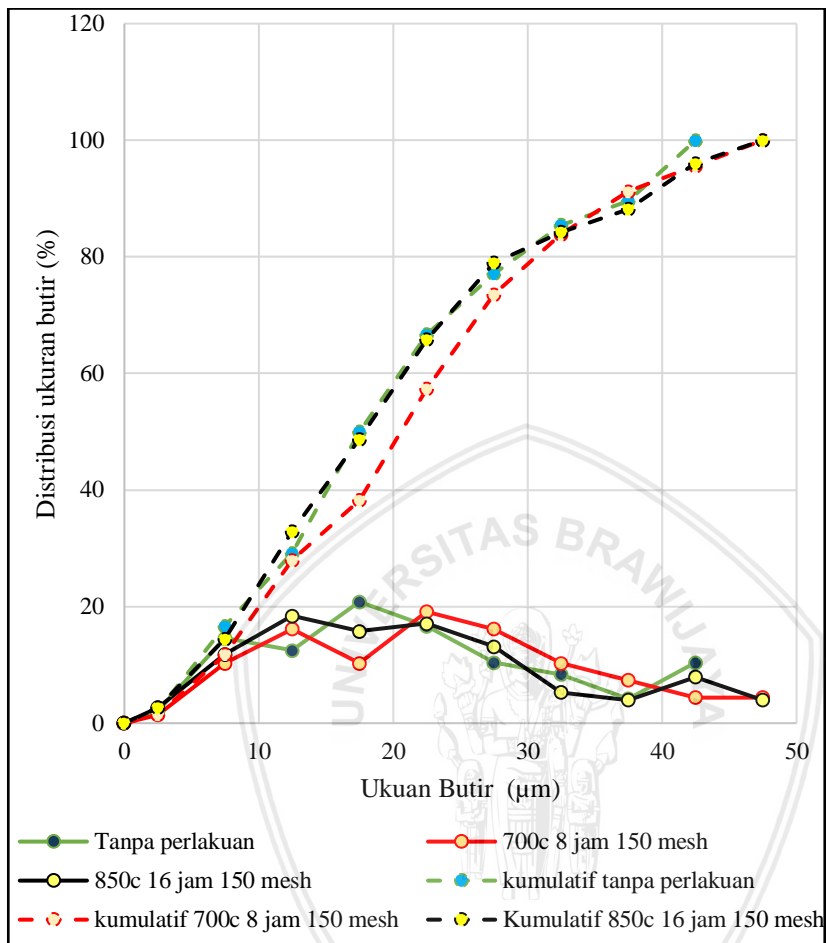
Hal ini menunjukkan bahwa ukuran butir pada pemanasan temperatur 850°C selama 16 jam dengan butir karbon lolos ayakan 50 mesh memiliki ukuran butir kecil lebih banyak dari pada pemanasan temperatur 850°C selama 8 jam butir karbon lolos ayakan 50 mesh. Selain itu dilihat dari kumulatif distribusi ukuran butir yang ditunjukkan pada Gambar 4.9, dapat disimpulkan bahwa, pada pemanasan 850°C 16 jam 50 mesh memiliki distribusi ukuran butir yang paling tinggi.

4.4.2 *Carburizing* dengan variasi ukuran butir 150 mesh



Gambar 4. 10 Struktur Mikro baja setelah hasil carburizing (a) 700°C 8 jam 150 mesh (b) 850°C 16 jam 150 mesh

Struktur mikro baja hasil carburizing pada ukuran butir karbon lolos ayakan 150 mesh mengalami perubahan yang ditunjukkan pada Gambar 4.10. struktur mikro yang terbentuk adalah ferit dan sementit pada batas butir. Dapat diamati dengan jelas bahwa pemanasan dengan temperatur 850°C, selama 16 jam, pada ukuran karbon lolos ayakan 150 mesh terbentuk sementit terlihat lebih hitam pada batas butirnya. Hal ini menandakan bahwa atom karbon telah berdifusi pada baja, sedangkan pemanasan dengan suhu 700°C selama 8 jam pada butir karbon lolos ayakan 150 mesh batas butir terlihat tidak setebal pemanasan pada temperatur 850°C selama 16 jam butir karbon lolos ayakan 150 mesh. Jika dilihat berdasarkan ukuran butirnya 700°C 8 jam 150 mesh terlihat memiliki banyak ukuran butir besar, jika dibandingkan dengan pemanasan 850°C 16 jam 150 mesh memiliki ukuran butir lebih kecil dan banyak.



Gambar 4. 11 Grafik distribusi ukuran butir baja tahan karat 316L sebelum dan setelah hasil carburizing pada ukuran butir 150 mesh.

Pemanasan pada temperatur 700°C selama 8 jam dengan butir karbon lolos ayakan 150 mesh didapatkan nilai kekerasan sebesar 170,10 HV dengan distribusi butir sebesar 56,72 % pada ukuran butir dibawah 25 μm selebihnya diatas 25 μm , sedangkan pemanasan pada temperatur 850°C selama 16 jam dengan butir karbon lolos ayakan 150 mesh diperoleh nilai kekerasan sebesar 279,50 HV, dengan distribusi butir sebesar 65,79% pada ukuran mikro dibawah 25 μm .

Hal ini menunjukkan bahwa ukuran butir pada pemanasan temperatur 850°C selama 16 jam butir karbon lolos ayakan 150 mesh memiliki ukuran butir berdiameter kecil lebih banyak dari pada pemanasan temperatur 700°C selama 8 jam butir karbon lolos ayakan 150 mesh. Selain itu dilihat dari kumulatif distribusi ukuran butir yang ditunjukkan pada Gambar 4.11, dapat dilihat bahwa pemanasan 850°C 16 jam 150 lebih tinggi daripada 700°C 8 jam 150 dan jumlah butir lebih banyak dari baja tanpa perlakuan.

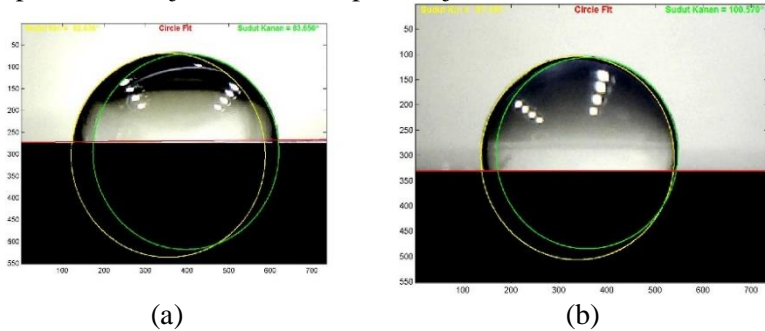
Hal ini dipengaruhi oleh temperatur dan waktu tahan. Semakin tinggi temperatur maka atom akan memiliki energi termal lebih tinggi sehingga pergerakannya meningkat dan akibatnya butir pada baja semakin besar. Seiring dengan meningkatnya suhu, waktu tahan juga mempengaruhi pertumbuhan butir. Semakin lama penahanan waktu pemanasan pergerakan atom akan leluasa bergerak dan menyebabkan butir semakin besar pula, sehingga semakin banyak butir kecil nilai kekerasan baja akan tinggi pula, karena jika butir kecil semakin banyak maka batas butir yang terbentuk akan semakin banyak pula. Dimana batas butir merupakan batas area yang memisahkan butir satu dengan yang lain dan menyebabkan butir semakin rapat dan menghambat terjadinya deformasi.

4.5 Uji sudut kontak

Uji sudut kontak adalah pengujian untuk mengetahui sifat hidrofobik dan hidrofilik dari suatu permukaan bahan. Sifat hidrofobik merupakan karakteristik permukaan bahan yang mampu menolak air yang jatuh pada permukaannya, sedangkan hidrofilik merupakan sifat bahan yang dapat berikatan dengan air. Sifat dari suatu permukaan bahan dipengaruhi oleh kekasaran nano-mikro dan komposisi kimia pada suatu permukaan (Feng, dkk., 2002). Selain itu nilai sudut kontak bergantung pada faktor pori-pori yang terisi cairan dan juga keberadaan zat asing pada permukaan.

Sudut kontak merupakan sudut yang terbentuk dari interaksi permukaan bahan dengan air destilasi yang ditetesi pada permukaan bahan. Pengukuran ini menggunakan tetesan air sebesar 20 μ l, dan kemudian akan membentuk suatu lengkungan yang memiliki tiga kelompok. Jika hasil sudut kontak yang dihasilkan lebih kecil dari 30° bersifat basah (hidrofilik), antara 30-89° bersifat basah sebagian

(partially wetted) dan lebih dari 90° bersifat hidrofobik. Gambar 4.12 merupakan hasil uji sudut kontak pada baja tahan karat AISI 316L.



Gambar 4. 12 Hasil uji sudut kontak pada baja tahan karat AISI 316L
(a) tanpa perlakuan (b) salah satu hasil *carburizing*

Tabel 4. 3 Nilai sudut kontak pada baja AISI 316L setelah hasil *carburizing*

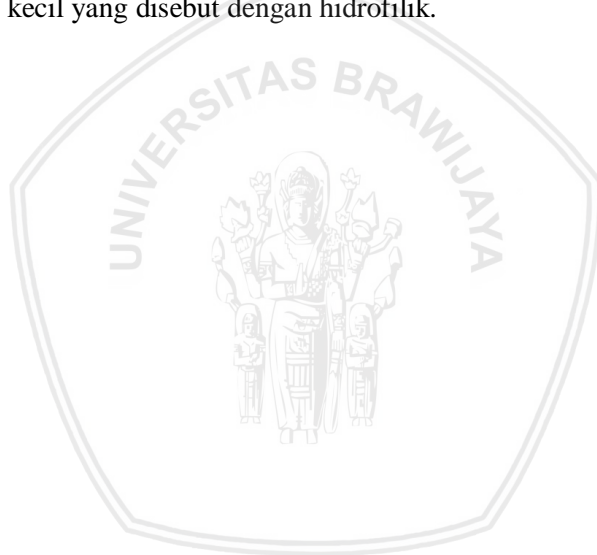
Temperatur ($^\circ\text{C}$)	50 mesh 8 jam	50 mesh 16 jam	150 mesh 8 jam	150 mesh 16jam
700	89,94	91,11	96,09	94,17
750	90,27	91,27	90,26	92,26
800	99,21	90,26	90,81	91,48
850	90,81	92,95	92,14	93,71

Baja tanpa perlakuan memiliki nilai sudut kontak sebesar 82° yang artinya bersifat basah sebagian. Pada Tabel 4.3 menunjukkan bahwa baja hasil *carburizing* nilai sudut kontak semakin besar. Nilai sudut kontak hasil *carburizing* mengalami perubahan sifat yang semula hidrofilik menjadi hidrofobik, karena nilai sudut kontak sebagian besar diatas 90° . Nilai sudut kontak tertinggi terjadi pada temperatur 800°C dengan ukuran butir 50 mesh dan waktu tahan 8 jam yaitu sebesar $99,21^\circ$. Sedangkan nilai sudut kontak terendah terjadi pada temperatur 700°C dengan waktu tahan 8 jam dan ukuran butir 50 mesh, yakni sebesar $89,94^\circ$ yang berarti masih bersifat basah sebagian (*partially wetted*).

Besar nilai sudut kontak dipengaruhi oleh kekasaran permukaan bahan. Permukaan spesimen hasil *carburizing* menunjukkan bahwa

banyak karbon yang masih menempel pada permukaan baja yang disebabkan saat proses *carburizing* atom tidak memiliki energi yang cukup untuk berdifusi masuk kedalam permukaan baja, selain itu juga dapat disebabkan karena pada rongga baja telah terpenuhi oleh sebagian karbon. Sehingga karbon lainnya masih menempel pada permukaan dan akibatnya permukaan baja menjadi kasar.

Permukaan yang kasar mempengaruhi keadaan air saat ditetaskan pada permukaan bahan. Dimana ketika air mengalami kontak langsung dengan permukaan baja yang kasar, air akan mengikuti struktur dari permukaan yang kasar tersebut dan menghasilkan sudut yang lebih besar karena area kontak antara air dan permukaan lebih kecil. Sebaliknya semakin rendah kekasaran permukaan baja, area kontak air dengan permukaan lebih besar sehingga menghasilkan sudut yang lebih kecil yang disebut dengan hidrofilik.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Penggunaan karbon berbahan dasar bambu yang lolos ayakan 150 mesh lebih efektif meningkatkan nilai kekerasan baja tahan karat AISI 316L dibandingkan dengan karbon yang lolos ayakan 50 mesh, karena semakin kecil ukuran butir memungkinkan luas kontak karbon dengan baja semakin luas.
2. Kenaikan temperatur dari 700°C sampai dengan 850°C berhasil meningkatkan kekerasan baja tahan karat AISI 316L, dimana semakin tinggi temperatur akan meningkatkan energi termal (aktivasi) pada atom, sehingga atom karbon lebih mudah terdifusi. Pada proses *pack carburizing* nilai tertinggi didapat pada temperatur 850°C yaitu sebesar 279,50 HV.
3. Waktu tahan 16 jam lebih efektif dari waktu tahan 8 jam, karena semakin lama waktu tahan akan memberi kesempatan karbon untuk berdifusi lebih dalam kedalam matrik baja, sehingga baja menjadi semakin keras.
4. Nilai kekerasan tertinggi didapat pada ukuran butir 150 mesh dengan temperatur 850°C dan waktu tahan selama 16 jam yaitu sebesar 279,50 HV.

5.2 Saran

Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan menambahkan uji XRD, sehingga dapat mengetahui fase yang terjadi setelah proses carburizing. Selain itu perlu adanya variasi temperatur, waktu dan ukuran butir lebih banyak untuk mengetahui tingkat kekerasan material hasil proses *pack carburizing* dengan sumber karbon berbahan dasar arang bambu.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- Aniq, & Ahmad. (2007). Pengaruh Suhu Carburizing Menggunakan Media Arang Batok Kelapa Terhadap Kekerasan dan Ketahanan Aus Roda Gigi Baja AISI 4140, 01(1).
- Askeland, D. R., Fulay, P. P., & Wright, W. J. (2006). *The Science and Engineering of Materials*. Virginia Tech (Sixth). New York: Cengage Learning.
- Budinski, G. K. (1979). *Properties and Selection Seventh Edition* (Seventh). New Jersey: Prentice Hall.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (1991). *Materials Science and Engineering An introduction* (8th ed.). USA: John Willey & Sons, Inc. [https://doi.org/10.1016/0261-3069\(91\)90101-9](https://doi.org/10.1016/0261-3069(91)90101-9)
- Ding, Y. (2008). General Biological Characteristics of Bamboo, Nanjing Forestry University, Cultivation of Bamboo, Training Course on Bamboo Technologies for Developing Countries, China National Bamboo Research Center, Hangzhou China.
- Hamzah, M. S., & Iqbal, M. (1999). Peningkatan ketahanan aus baja karbon rendah dengan metode carburizing.
- Istiana, I. (2012). *Pengaruh Temperatur Pemanasan Terhadap Koefisien Perpindahan Massa Difusi (Diffusivity) Karbon pada Proses Pack Carburizing Baja AISI 3115*. Universitas Brawijaya.
- Krisdianto, Sumarni, G., & Agus, I. (1995). Sari Hasil Penelitian Bambu.
- Kuswanto, B. (2010). *Perlakuan Pack Carburizing pada Baja Karbon Rendah Sebagai Material Alternatif untuk Pisau Potong pada Penerapan Teknologi Tepat Guna*. Politeknik Negeri Semarang.
- Lakhtin, Y. (1977). *Engineering Physical Metallurgy* (Sixth). London: Butterworth Heinemann.
- M. Toni, P., Berahim, H., & Haryono, T. (2012). Pengujian Sudut Kontak pada Bahan Isolasi Resin Epoksi dengan Pengisi Pasir Pantai yang Mengandung Banyak Kalsium. *Media Elektrik*, 5(1), 55–63.
- Mahardika, M., & Saputra, Y. (2014). Peningkatan Kualitas Permukaan pada Stainledd Steel 316L. *Teknologi*, 7(2), 141–145.
- Melania, M. S. (2012). *Produksi Karbon Aktif dari Bambu dengan Aktivasi Menggunakan Kalium Hidroksida*. Universitas

Indonesia.

- Ngakan, D., & Putra, K. (2016). Efektifitas Carburizer dari Sumber Karbon Berbeda Pada Proses Pack Carburizing. *Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana*, 2(1), 5–10.
- Raharjo, R., Dwi, T., & Satriya, B. (2015). *Tingkat Kekasaran Permukaan Stainless Steel 316L Akibat Tekanan Steelballpeening*.
- Robbina, M. A. (2012). *Perbandingan Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Akibat Variasi Katalis pada Proses Carburizing Baja 545C*. Universitas Negeri Semarang.
- Smallman, R. E., & Ngan, A. H. W. (2014). *Modern Physical Metallurgy Eighth Edition Modern Physical Metallurgy Eighth Edition* (eight). London: Elsevier.
- Tjipto, S. (2003). Aplikasi Plasma dan Teknologi Sputtering Untuk Surface Treatmen, 2, 21–25.
- Vlack, L. H. Van. (1981). *Elements of Material Science and Engineering* (fifth). New York: Addison-Wesley.
- Wahid, S. (2003). *Ilmu Logam I*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Wisnujati, A. (2017). Analisis Perlakuan Carburizing Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik pada Bahan Sprockrt Imitasi Sepeda Motor, 8(1), 127–134.
- Yono, A. (2013). Analisis Pengaruh Panas pada Daerah Penyekatan dalam Proses Karburising terhadap Nilai Kekerasan Baja Karbon. *Jurnal Ilmiah*, 2(2).