

TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab 2 ini dijelaskan mengenai Baja ASTM A36, Perlakuan Panas, *Quenching*, *Surface Hardening*, Karburisasi, Kulit Singkong, Karbon Aktif, *Energizer*, Pengujian Metalografi, Pengujian Kekerasan, Pengujian *SEM-EDX*, dan Penelitian Terdahulu.

2.1 Baja ASTM A36

Material SS 400 / JIS G3101 / ASTM A36 setara dengan DIN: ST 37-2 dan ASTM: A283C adalah baja ringan dimana komposisi kimianya hanya karbon (C), Mangan (Mn), Silikon (Si), Sulfur (S) dan Posfor (P) dapat dilihat pada tabel 2.1. Biasanya digunakan untuk aplikasi baja struktural seperti jembatan, tangki minyak, dan lain-lain. Baja ASTM A36 dengan kandungan kadar karbon rendah, bahan ini tidak dapat dikeraskan. Bahan ini hanya dapat dikeraskan melalui pengerasan permukaan seperti karburisasi dan nitridasi, dimana permukaan dapat mencapai 500 Brinell (sekitar 50 HRC) pada kedalaman permukaan 10 hingga 20 mikron tergantung pada proses (Ahmad, 2015).

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja ASTM A36 (Oktadinata, 2016)

Nama	Komposisi (% Max)
Karbon (C)	0.27
Mangan (Mn)	0.60 – 0.90
Fosfor (P)	0.04
Sulfur (S)	0.05
Silikon (Si)	0.40

Fasa-fasa tersebut antara lain: *Ferrit* (α -iron) yang memiliki struktur kristal BCC dengan karakteristik fase pada temperatur rendah yang relatif lunak dan merupakan fase kesetimbangan stabil; δ -ferrit (δ -iron) yang memiliki struktur Kristal BCC dengan karakteristik isomorf dengan α -besi, fase pada temperatur tinggi dan fase kesetimbangan stabil; Austenit (γ -iron) yang memiliki struktur Kristal FCC dengan karakteristik fase pada temperatur menengah yang relatif lunak dan fase kesetimbangan stabil; Cementite (Fe_3C) yang memiliki struktur Kristal *complex orthorhombic* dengan karakteristik fase keras metastabil; Pearlite yang merupakan mikrokonstituen metastabil dan campuran lamelar dari ferrit dan sementit; Martensite dengan struktur kristal BCT (larutan jenuh karbon di ferrit) dengan karakteristik fase keras metastabil; morfologi bilah ketika $< 0,6\%$ w, morfologi lempeng saat $> 1,0\%$ berat C dan campuran keduanya (ASM Handbook, 1991).

2.2.1 *Quenching*

Proses *quenching* atau pengerasan baja adalah suatu proses pemanasan logam hingga mencapai batas austenit yang homogen. Untuk mendapatkan kehomogenan ini maka austenit perlu waktu pemanasan yang cukup. Selanjutnya secara cepat baja tersebut dicelupkan ke dalam media pendingin, tergantung pada kecepatan pendingin yang kita inginkan untuk mencapai kekerasan baja. Pada waktu pendinginan yang cepat pada fase austenit tidak sempat berubah menjadi ferrit atau perlit karena tidak ada kesempatan bagi atom-atom karbon yang telah larut dalam austenit untuk mengadakan pergerakan difusi dan bentuk sementit oleh karena itu terjadi fase lalu yang martensit, ini berupa fase yang sangat keras dan bergantung pada keadaan karbon. (Alfani, 2016)

Dalam proses *quenching* salah satu yang mempengaruhinya ialah *Holding time* yang dilakukan untuk memperoleh kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses hardening memiliki prinsip menahan suhu pengerasan agar dapat menjadi pemanasan yang homogen sehingga struktur austenitnya homogen larut kedalam austenit dan difusi karbon dan unsur paduannya (Koswara, 1999 dalam Hanafi, 2018). Dimana jika pemberian *Holding time* yang diberikan kurang tepat

atau terlalu cepat, maka transformasi yang terjadi tidak sempurna dan tidak sejenis dan juga akan menghasilkan kekerasan yang rendah hal ini dikarenakan kurangnya jumlah karbida yang larut. Namun, jika *holding time* yang diberikan terlalu lama, transformasi terjadi namun diikuti dengan pertumbuhan butir yang dapat menurunkan ketangguhan (Thelning, 1984 dalam Pramono, 2011).

Quenching biasanya dipanaskan hingga temperatur austenitisasi dari kisaran 815 hingga 870 °C untuk baja. Pengerasan yang sukses berarti mencapai mikrostruktur yang dibutuhkan, kekerasan, kekuatan, atau ketangguhan sambil meminimalkan sisa stres, distorsi, dan kemungkinan retak. Pemilihan media *quenchant* tergantung pada pengerasan paduan tertentu, ketebalan, bentuk dan laju pendinginan yang dibutuhkan untuk mencapai mikrostruktur yang diinginkan. Media *quenchant* yang biasa digunakan meliputi: Minyak, air-larutan polimer, dan air yang mengandung garam atau zat aditif kaustik. (ASM Handbook, 1991).

Untuk penelitian ini menggunakan media oli, dimana menurut standar *grossmann number*, untuk media *quenchant* oli, dilakukan pendinginan dari temperatur 885° C ke 65 dan 120 ° C dengan durasi waktu *quenching* pada tipe konvensional yaitu 14-22 detik, dan tipe *fast* 7-14 detik (ASM Handbook, 1991).

2.2.2 *Normalizing*

Normalizing adalah proses perlakuan panas yang sering dianggap dari sudut pandang termal dan mikrostruktur. Dalam pengertian termal, normalisasi adalah siklus pemanasan austenitisasi diikuti dengan pendinginan dalam udara. Biasanya, benda uji dipanaskan sampai suhu sekitar 55 ° C (100 ° F) di atas garis kritis pada diagram fase iron-iron.karbida. Di atas Ac3 untuk baja *hypoeutectoid* dan di atas Ac_m untuk baja *hypereutectoid*. Agar dapat digolongkan dengan benar sebagai perlakuan normal, bagian pemanasan dari proses harus menghasilkan fase austenit homogen (struktur kristal fcc) sebelum pendinginan (ASM Handbook, 1991).

Prinsip pada proses *normalizing* ialah untuk melunakkan logam, namun pada baja karbon tinggi atau baja paduan tertentu dengan proses ini belum tentu memperoleh baja yang lunak, Mungkin berupa pengerasan dan tergantung pada kadar karbonnya. Proses *normalizing* bertujuan untuk memperbaiki struktur butiran

kasar dan ketidakseragaman struktur dalam baja menjadi berstruktur yang normal kembali yang otomatis mengembalikan keuletan baja. Struktur butiran terbentuk karena waktu pemanasan dengan temperature tinggi atau pada daerah austenite yang menyebabkan baja berstruktur butiran kasar. (Brian, 2020)

2.2.3 *Tempering*

Tempering adalah suatu proses di mana baja yang sebelumnya dikeraskan atau dinormalisasi biasanya dipanaskan hingga suhu di bawah suhu kritis yang lebih rendah dan didinginkan pada tingkat yang sesuai, terutama untuk meningkatkan keuletan dan ketangguhan, tetapi juga untuk meningkatkan ukuran butir matriks. Baja tempering dengan pemanasan ulang setelah pengerasan diperoleh nilai spesifik dari sifat mekanik dan juga untuk menghilangkan tekanan pendinginan. Tempering biasanya mengikuti pendinginan dari atas suhu kritis atas; Namun, temper juga digunakan untuk meredakan tegangan dan mengurangi kekerasan yang dikembangkan selama pengelasan dan untuk menghilangkan tekanan yang disebabkan oleh pembentukan dan permesinan. Pada baja AISI 1030, material dinormalisasi pada 900 ° C (1650 ° F), didinginkan dengan media air dari 830-845 ° C (1525-1550 ° F) (ASM Handbook, 1991).

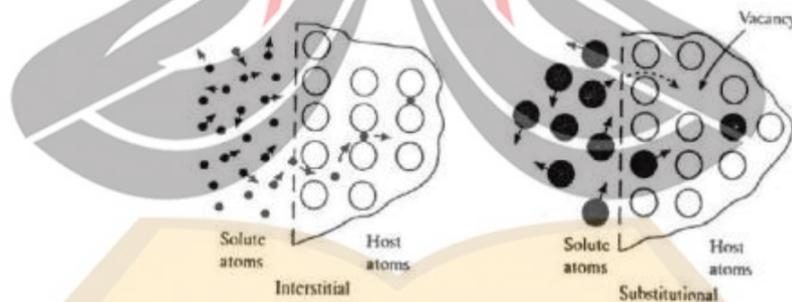
2.2.4 *Surface Hardening (Kekerasan Permukaan)*

Pengerasan permukaan biasanya digunakan untuk meningkatkan ketahanan aus suku cadang tanpa mempengaruhi interior bagian yang lebih lembut dan keras. Kombinasi permukaan yang keras dan ketahanan terhadap kerusakan akibat benturan berguna pada bagian-bagian seperti roda gigi bubungan atau ring yang harus memiliki permukaan yang sangat keras untuk menahan keausan, bersama dengan interior yang kuat untuk menahan benturan yang terjadi selama pengoperasian. Lebih lanjut, pengerasan permukaan baja memiliki keunggulan dibandingkan melalui pengerasan, karena baja karbon rendah dan menengah yang lebih murah dapat dikeraskan permukaannya tanpa masalah distorsi dan retak yang terkait dengan pengerasan tembus pandang tebal (Davis, 2002).

2.2.4.1 Karburisasi

Karburisasi dicapai dengan memanaskan baja pada suhu di bidang fasa austenit homogen di lingkungan sumber karbon yang sesuai. Karburisasi menghasilkan permukaan yang keras dan dibandingkan dengan dimensinya yang seringkali dangkal pada komponen yang relatif lunak ketika struktur mikro permukaan baja dengan kandungan inti karbon meningkat dengan proses karburisasi dan ditransformasikan menjadi martensit seperti pada gambar 2.1 menunjukkan proses berdifusinya karbon dengan cara difusi intersisi (penyisipan).

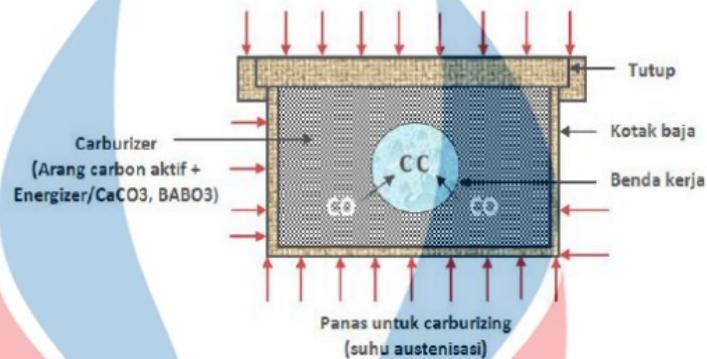
Perlakuan ini mengarah pada pembentukan gradien kekerasan dan distribusi tegangan sisa dengan tegangan tekan pada struktur mikro permukaan karena perubahan volume selama transformasi martensitik. Waktu karburisasi tergantung pada kedalaman difusi yang diinginkan. Proses yang digunakan diklasifikasikan menurut sumber karbonnya dalam *pack carburizing* (senyawa padat), *salt bath carburizing* (sumber karbon cair), dan karburisasi gas dan plasma (sumber karbon berbentuk gas). *Pack carburizing* juga menghasilkan atmosfer gas, yang berarti bahwa fenomena karburisasi gas pada hakikatnya juga berlaku untuk *pack carburizing* (Totten, 2007).



Gambar 2.2 Proses Berdifusinya Karbon (Alkarim, 2019)

Pack carburizing adalah metode karburisasi yang paling sederhana dibanding metode cair dan gas, karena dapat dilakukan dengan peralatan yang sederhana. Pada metode ini, komponen ditempatkan dalam kotak berisi media karburisasi yaitu sumber karbon aktif dan *energizer* dengan pemanasan pada suhu austenisasi (815-870 °C) akan mengeluarkan gas CO₂ dan CO seperti pada gambar 2.2. Pembentukan karbon monoksida ditingkatkan oleh *energizer* atau katalis, seperti barium karbonat (BaCO₃), kalsium karbonat (CaCO₃), kalium karbonat

(K_2CO_3), dan natrium karbonat (Na_2CO_3), yang terjadi pada proses karburasi. Kandungan karbon dari setiap jenis arang adalah berbeda-beda. Semakin tinggi kandungan karbon dalam arang, maka penetrasi karbon ke permukaan baja akan semakin baik pula (Lathkin, 1965).



Gambar 2.3 Skema Proses *Pack Carburizing* (Negara, 2016)

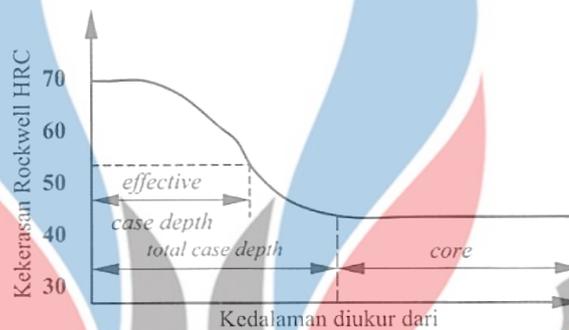
Temperatur proses yang digunakan pada *pack carburizing* ialah 815-1090 °C. Proses pembuatan baja telah meningkat sejauh ukuran butir halus dipertahankan pada temperatur mendekati atau melebihi 1040 °C. Di atas temperatur ini, efek pengerasan hanya terjadi setelah periode waktu yang lama, memungkinkan perlakuan temperatur tinggi tanpa butiran kasar yang berlebihan. Laju pembentukan karburisasi meningkat dengan cepat seiring naiknya temperatur. Pada temperatur operasi, tingkat karbon rata-rata yang diinginkan di seluruh permukaan langsung tergantung pada temperatur karburasi. Ketika kasus eutektoid diinginkan, temperatur karburasi biasanya sekitar 815 °C berada di atas Acm (ASM Handbook, 1991).

Hukum pertama Fick's menyatakan bahwa difusi dari sebuah elemen dalam suatu bahan substrat merupakan fungsi koefisien difusi dan gradien konsentrasi. Gradien konsentrasi adalah jumlah atom yang terdapat di sekitar substrat dibandingkan dengan jumlah atom yang terdapat di dalam substrat (Schonmetz dan Gruber, 1994). Pada suhu tinggi baja, mampu melarutkan banyak karbon, sehingga dalam waktu singkat permukaan baja dapat menyerap karbon hingga mencapai batas jenuhnya. Tebalnya bagian permukaan benda yang menjadi keras (*depth of case hardening* = DC), dimana kedalaman lapisan karburisasi (*Case Depth*) dapat dihitung dengan persamaan 1.1 atau dapat diketahui dengan diukur secara mekanis dengan pengujian kekerasan. Dimana proses karburisasi dianggap

berhasil apabila kekerasan permukaan yang dihasilkan mencapai 52 HRC (550 HVN) berdasarkan standar ISO No. 2639-1973 atau 64,8 HRD.

$$C D (Case\ Depth) = \frac{31.6\sqrt{t}}{10^{\left(\frac{6700}{T}\right)}} \quad (1.1)$$

Dengan keterangan C D (*Case Depth*) = Kedalaman karburisasi (inch), t = waktu tahan karburisasi (Jam), dan T = temperature holding time karburisasi (°R) (Viktor, 2008).



Gambar 2.4 Pola Degradasi Kekerasan Lapisan Karburisasi (Viktor, 2008)

Hasil struktur mikro pada material karburisasi yang langsung di didinginkan, terdapat daerah putih yang menunjukkan austenit belum bertransformasi karena stabilitas tinggi pada austenit karbon tinggi. Meningkatkan kandungan karbon dapat menurunkan temperatur M_s (martensit start) dan menekan seluruh rentang temperatur untuk transformasi martensit ke bawah temperatur ruangan. Akibatnya selalu ada jumlah signifikan austenit tertahan dalam kasus baja karburasi yang didinginkan pada temperatur kamar. Struktur mikro martensit-austenit yang terbentuk dekat dengan permukaan baja karburasi yang langsung didinginkan setelah karburasi. Martensit karbon tinggi (gelap) dibentuk oleh transformasi pergeseran austenit, kurangnya difusi dan memiliki morfologi yang ditandai dengan kristal berbentuk pelat yang tidak parallel. Dengan menurunnya temperatur, semakin banyak pelat martensit terbentuk di antara lempeng-lempeng besar, dan menjadi lebih halus seperti austenit semakin dipartisi oleh lebih banyak transformasi. Menurut urutan pembentukan martensit ini, semakin halus ukuran butir austenit, yang lebih halus adalah susunan pelat martensit. Bagian karburasi dapat didinginkan hingga temperatur kamar setelah karburisasi dan dipanaskan

ulang untuk pengerasan untuk menyempurnakan ukura butir austenit. Jika pemanasan diatas temperatur Ac_m maka struktur sepenuhnya menjadi austenit. Jika dibawah Ac_m maka terbentuk sferoidisasi karbida dalam austenit tertahan, sehingga kandungan karbon austenit berkurang, Ms meningkat, struktur mikro yang didinginkan memiliki austenit lebih sedikit. Partikel karbida menghambat pertumbuhan butir dan mempertahankan ukuran butir austenit yang sangat halus (ASM Handbook, 1991).

2.3 Kulit Singkong

Singkong (*Manihot utilisima*) merupakan makanan pokok ketiga setelah padi dan jagung bagi masyarakat Indonesia. Tanaman ini dapat tumbuh sepanjang tahun di daerah tropis dan memiliki daya adaptasi yang tinggi terhadap kondisi berbagai tanah. Tanaman ini memiliki kandungan gizi yang cukup lengkap. Kandungan kimia dan zat gizi pada singkong adalah karbohidrat, lemak, protein, serat makanan, vitamin (B1, C), mineral (Fe, F, Ca), dan zat non gizi, air. Selain itu, umbi singkong mengandung senyawa non gizi tannin (Soehardi, 2004). Berdasarkan data BPS 2008, diketahui produksi umbi singkong pada tahun 2008 adalah sebanyak 20,8 juta ton, artinya potensi kulit singkong di Indonesia mencapai angka angka 3,3 juta ton/tahun, dimana kulit singkong terkandung dalam setiap umbi singkong dan keberadaannya mencapai 16% dari berat umbi singkong tersebut (Supriyadi, 1995).



Gambar 2.5 Kulit Singkong

Kulit singkong memiliki dua jenis bagian kulit, dimana kulit luar berwarna coklat dan kulit bagian dalam yang berwarna ungu kecoklatan dengan persentase jumlah limbah kulit bagian luar sebesar 0,5-2% dari berat total singkong segar dan limbah kulit bagian dalam sebesar 8-15% sehingga pada proses karburisasi kulit dalam diambil sebagai media karburiser. Limbah kulit singkong termasuk dalam kategori sampah organik karena terdegradasi (membusuk/ hancur) secara alami. Jumlah produksi dan konsumsi singkong di Indonesia setiap tahunnya terus meningkat, dimana limbah kulit singkong yang dihasilkan juga semakin banyak. (Marlina, 2019)

Kulit Singkong memiliki kandungan selulosa yang cukup besar, dimana menurut Santoso (2012) menyatakan bahwa bersumber pada studi laboratorium, kulit dari singkong menyimpan 57% selulosa, 22% lignin, serta memiliki panjang serat antara 0,5- 0,05 cm serta macam-macam kandungan kimia yang dapat dilihat pada tabel 2.2. Dimana Selulosa dan lignin berperan dalam hal pembentukan kristalit arang dari atom karbon, selama proses karbonisasi pada lignin terjadi penguraian struktur kimia yang mirip dengan pola spektrum karbonisasi selulosa (Pari, 2004). Peningkatan temperatur dalam proses karbonisasi lignin mengakibatkan terjadinya pergeseran antar lapisan kristalit dalam lignin dan mengubah struktur amorfnya sehingga terbentuk pola struktur baru yang berbeda dengan asalnya, dan diperoleh arang yang bersifat lebih kaku dan keras (Pari, 2006).
Tabel 2.2 Komposisi Kimia Kulit Singkong (Purwaningsih, 2019)

Nama	Komposisi (% Max)
Karbon (C)	59,31
Hidrogen (H)	9,78
Oksigen (O)	28,74
Nitrogen (N)	2,06
Sulfur (S)	0,11
Abu (<i>Ash</i>)	0,3
Air (H ₂ O)	11,4

Produksi singkong di Indonesia pada tahun 2012 mencapai 24.177.372 ton (BPS Kementerian Pertanian, 2013). Kemudian, pada tahun 2015, produksi singkong di Indonesia mencapai 21.801.415 ton (BPS, 2017). Limbah kulit singkong merupakan residu hasil pertanian yang terdapat dalam jumlah melimpah di berbagai daerah di Indonesia, termasuk Aceh. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu upaya untuk mengaktivasi selulosa non reduksi pada biomassa kulit singkong sehingga diperoleh biomassa yang lebih aktif menyerap logam berat. Selama ini limbah kulit singkong ini belum dimanfaatkan secara maksimal oleh masyarakat, padahal limbah ini bisa dimanfaatkan sebagai bahan baku karbon aktif. (Maulinda, 2015)

Tabel 2.3 Komposisi Kimia Arang Kulit Singkong

Nama	Komposisi (% Max)
Karbon (C)	63,03
Oksigen (O)	25,59
Nitrogen (N)	11,27
Sulfur (S)	0,10

2.4 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi, dengan menggunakan gas, uap air dan bahan-bahan kimia sehingga pori-porinya terbuka. Proses pembuatan karbon aktif mencakup dua tahapan utama, yakni proses karbonisasi bahan baku dan proses aktivasi bahan terkarbonisasi tersebut pada suhu lebih tinggi, dimana untuk proses pembuatan karbon aktif dapat dibagi dua, yaitu: proses kimia dan proses fisika.

Aktivasi adalah suatu perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar diameter pori serta juga dapat membuat beberapa pori baru yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi (Sembiring, 2003), serta untuk menghilangkan zat-zat pengotor yang mudah

menguap dan membuang hidrokarbon-hidrokarbon pengotor pada arang (Anggraeni, 2015). Proses aktivasi menghasilkan karbon oksida yang tersebar dalam permukaan karbon karena adanya reaksi antara karbon dengan zat pengoksidasi (Kinoshita, 1988).

Tujuan utama dari proses aktivasi adalah menambah atau mengembangkan volume pori dan memperbesar diameter pori yang telah terbentuk pada proses karbonisasi serta untuk membuat beberapa pori baru. Adanya interaksi antara zat pengaktivasi dengan struktur atom-atom karbon hasil karbonisasi adalah mekanisme dari proses aktivasi. (Hassler, 1951).

Jika karbon aktif tersebut telah dilakukan aktivasi dengan faktor bahan-bahan kimia ataupun dengan pemanasan pada temperatur tinggi. Dengan demikian, karbon akan mengalami perubahan sifat-sifat fisika dan kimia. Karbon aktif yang berwarna hitam, tidak berbau, tidak berasa dan mempunyai daya serap yang jauh lebih besar dibandingkan dengan karbon aktif yang belum menjalani proses aktivasi, serta mempunyai permukaan yang luas, yaitu memiliki luas antara 300 – 2000 m²/gram. Luas permukaan yang luas disebabkan karbon mempunyai permukaan dalam (*internal surface*) yang berongga, sehingga mempunyai kemampuan menyerap gas dan uap atau zat yang berada di dalam suatu larutan. (Maulinda, 2015)

Karbon aktif diperlukan dalam proses karburisasi hal ini dikarenakan dengan semakin besar luas permukaan pada pori-pori karbon serta menghilangkannya zat yang menutup pori-pori permukaan karbon maka karbon aktif yang berfungsi sebagai reagen pengaktif atau mengaktifkan atom-atom karbon sehingga performa pada karbon akan lebih meningkat. Maka pada proses karburisasi setelah reaksi yang menguraikan zat kaya karbon dan menghasilkan karbon baru (aktif) pada permukaan baja, karbon berpindah dari lapisan permukaan ke bagian dalam benda kerja diselesaikan dengan difusi. Difusi hasil karbon dari konsentrasi yang lebih tinggi di permukaan benda kerja ke konsentrasi yang lebih rendah di inti (Kwietniewski, 2013). Karbon yang aktif akan membuat lebih cepat bereaksi dengan oksigen menjadi karbon dioksida didalam kotak karburisasinya dan menjadi karbon monoksida dan karbon beserta dengan *energizer* memfasilitasi pengurangan

karbon dioksida dengan karbon untuk membentuk karbon monoksida. (Hosseini, 2016)

www.itk.ac.id

Pada saat perendaman terlihat bahwa larutan NaOH hasil rendaman berwarna hitam dimana membuktikan terjadinya proses aktivasi. Hal ini dikarenakan larutan NaOH bersifat basa kuat yang korosif sehingga menghasilkan banyak abu yang terlepas dari arang. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Iin safrianti tahun 2012 menjelaskan bahwa larutan NaOH juga berfungsi untuk memisahkan selulosa dan lignin. Ion OH⁻ dari NaOH akan memutuskan ikatan-ikatan dari struktur dasar lignin sehingga lignin akan mudah larut. Keberadaan lignin dapat menghambat proses adsorpsi. Reaksi pemutusan lignin dan selulosa. (Fengel dan Wegner, 1995)

2.5 Energizer

Pada proses *pack carburizing*, pembentukan karbon monoksida ditingkatkan oleh *energizers* atau katalis, yang ada dalam senyawa karburisasi. Energizer ini memfasilitasi pengurangan karbon dioksida dengan karbon untuk membentuk karbon monoksida. Jadi, dalam system tertutup, jumlah *energizer* tidak berubah. Karburisasi terus berlanjut selama cukup banyak karbon untuk bereaksi dengan kelebihan karbon dioksida (ASM Handbook, 1991).

Barium Carbonat (BaCO₃) merupakan zat pengaktif (*energizer*) yang ditambahkan kedalam media karburasi pada penelitian ini yang digunakan untuk mempercepat proses *carburizing*. yang digunakan sebagai aktifator dicampur dengan arang dengan perbandingan 4 : 1 atau sebanyak 20-25%. Bahan aktifator dibutuhkan agar proses penambahan karbon dari media ke baja dapat berlangsung dalam keadaan gas. Campuran ini bersama spesimen dimasukkan kedalam kotak baja untuk selanjutnya dilakukan proses *carburizing* (Panjaitan, 2015).

2.6 Pengujian Metalografi

Metalografi merupakan studi struktur fisik dan komponen logam yang menggunakan mikroskop atau mengetahui perkiraan dari sifat-sifat fisik dengan mengenali ciri-ciri khusus dari suatu bahan. Korelasi antara struktur mikro dan

kondisi mikroskopik meliputi peningkatan kekuatan luluh dan kekerasan dengan penueunan ukuran butir, sifat mekanik dengan butir yang memanjang dan atau kecenderungan orientasi butir, dan keuletan menurun dengan meningkatnya kadar inklusi (Hadi, 2016).

Dalam studi metalografi baja karburisasi, struktur permukaan karbon tinggi biasanya sangat penting. Struktur mikro yang dimaksudkan dari baja karburisasi pada dasarnya adalah kasus martensit karbon tinggi yang ringan dengan penurunan martensit dan kandungan karbon sebagai fungsi jarak dari permukaan. Kedalaman permukaan martensit tergantung pada seberapa banyak karbon yang diizinkan berdifusi ke bagian dalam bagian tersebut. Ini tergantung pada kandungan karbon di permukaan dan paparan temperatur waktu selama karburisasi (ASM Handbook, 2004).

2.10 Uji Kekerasan

Metode pengukuran kekerasan, yaitu dilakukan dengan cara material diindentasi menggunakan indenter pada permukaan benda uji dengan beban tertentu kemudian bekas penekanan yang terbentuk diukur. Indenter biasanya terbuat dari baja yang dikeraskan, tungsten karbida dan intan yang berbentuk piramid ber alas bujur sangkar dengan sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan 136° . (Nitha, 2018)

Uji kekerasan Rockwell merupakan uji kekerasan indentasi menggunakan mesin yang diverifikasi untuk memaksa indenter bola spherokonikal atau indenter bola tungsten karbida (atau baja), di bawah kondisi khusus, ke permukaan material yang diuji, dan untuk mengukur perbedaan kedalaman dari indentasi karena gaya pada indenter meningkat dari gaya uji awal yang ditentukan menjadi gaya uji total yang ditentukan dan kemudian kembali ke gaya uji awal (ASTM International, 2017). Prinsip umum uji kekerasan indentasi *Rockwell* diilustrasikan pada Gambar 2.6.

pengujian kekerasan Rockwell D sesuai standar ASTM E 18 – 17. Digunakan indenter intan, uji gaya total sebesar 100 Kgf, kecepatan kontak indenter

dengan spesimen uji sebesar 2,5 mm/s, waktu tinggal indentasi gaya awal sebesar 0,1 - 4 detik, waktu untuk penerapan gaya tambahan sebesar 1 – 8 detik, waktu tinggal untuk gaya total sebesar 2 – 6 detik, dan waktu tinggal untuk pemulihan elastis sebesar 0,2 – 5 detik.

Hardenability juga mempengaruhi *case depth*, austenit dari konsentrasi karbon tertentu berubah menjadi martensit dari kekerasan yang diberikan. Namun pada baja karburisasi dengan *hardenability* rendah yang dingin perlahan, austenit dapat berubah menjadi bainitik atau pearlitik dengan kekerasan lebih rendah daripada martensit. Pada teknik pemotongan bagian spesimen, dilakukan pemotongan tegak lurus terhadap permukaan di pusat panjang spesimen. Kemudian amplas dan poles spesimen hingga semakin halus, direkomendasikan polishing akhir maksimum 6 . Biasanya digunakan beban indenter 500 g pada 50 HRC. Prosedur diilustrasikan pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5 Titik-titik menunjukkan lokasi indenter kekerasan (ASM Handbook, 1991)

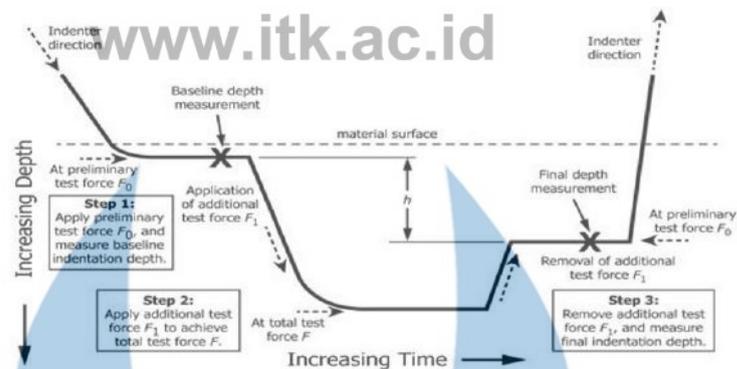


Gambar 2.6 Spesimen *croASTM-sectioned* untuk kasus ringan dan menengah (ASM Handbook, 1991).



Gambar 2.7 Spesimen *croASTM-sectioned* untuk kasus menengah dan berat (*case depth* > 0,38 mm) (ASM Handbook, 1991).

Rockwell hardness number adalah angka yang berasal dari peningkatan kedalaman indentasi ketika gaya pada indenter meningkat dari gaya uji awal yang ditentukan ke gaya uji total dan kemudian dikembalikan ke gaya uji awal. Pada Rockwell C dengan indenter intan digunakan ketebalan minimum spesimen 1,02 mm. (ASTM International, 2017).

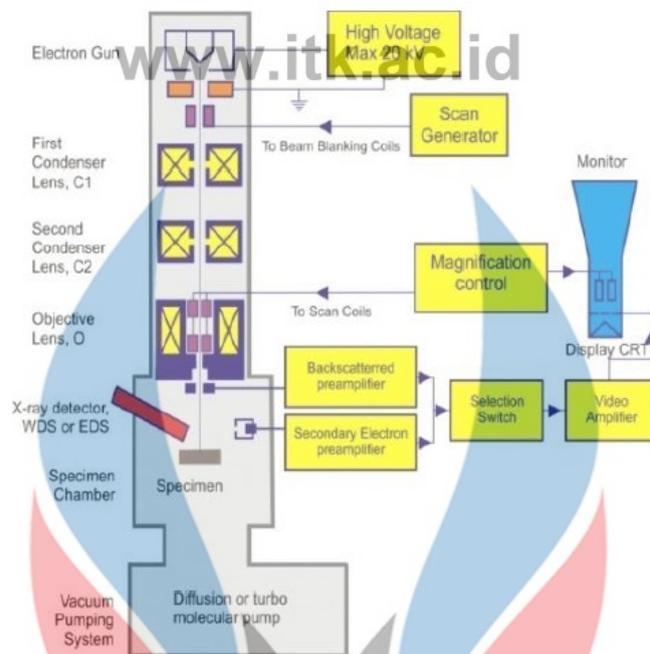


Gambar 2.8 Prinsip *Rockwell test* (ASTM International, 2017)

Pada material baja dengan kadar karbon 0,20% dengan konsentrasi martensit 50% diperoleh kekerasan 31,8 HRC, sedangkan konsentrasi martensit yang mencapai 99% diperoleh kekerasan 44,2 HRC (ASM Handbook, 1991).

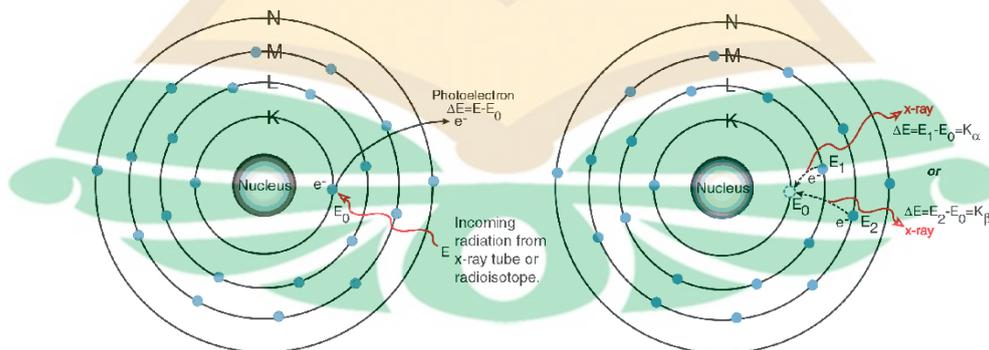
2.11 Uji Komposisi

Pengujian *SEM-EDX* (*Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*) merupakan pengujian yang dilakukan *SEM* terlebih dahulu kemudian dilakukan proses *EDX* untuk mendapatkan hasil dari pengujian komposisi yang diinginkan. Pengujian *SEM* merupakan salah satu dari jenis mikroskop elektron yang dapat mengamati permukaan objek *solid* secara langsung dengan menggunakan sinar elektron berenergi tinggi dalam *scan* pola raster, dimana elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai 200 nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi sampai 0,1 – 0,2 nm dengan memiliki perbesaran 10 - 3.000.000 kali. Elektron berinteraksi dengan atom-atom sehingga spesimen menghasilkan sinyal yang mengandung informasi tentang topografi permukaan spesimen, komposisi, dan karakteristik lainnya seperti konduktivitas listrik. Perbandingan hasil gambar mikroskop cahaya dengan elektron. Kemudian, terdapat beberapa sinyal yang dihasilkan oleh *SEM* yaitu yang pertama pantulan inelastic didapatkannya sinyal elektron sekunder dan karakteristik sinar X dan terakhir dari pantulan elastis didapatkannya sinyal *backscattered electron*. (Prasetyo, 2011).



Gambar 2.9 Skema Alat uji SEM (Sujatno, 2015)

Setelah didapatkannya hasil gambar specimen dari pengujian SEM, dilakukannya pengujian EDX yang merupakan salah satu Teknik analisis untuk menganalisis unsur atau karakteristik kimia pada suatu specimen. Pengujian ini didasarkan pada adanya interaksi antara suatu sumber energi yang menyebabkan terjadinya eksitasi elektron dengan sampel. Elektron yang lebih rendah energinya diemisikan dari atom selama proses penembakan, kulit didalamnya (energi yang lebih rendah) menjadi kosong. Karena kekosongan itulah, elektron yang berasal dari kulit yang lebih luar (energinya lebih tinggi) dapat mengisi kekosongan itu dan memancarkan sisa energinya yang berlebihan dalam bentuk sinar X. (Sanjaya,2012)



Gambar 2.10 Skema Terbentuknya Sinar X (Sanjaya,2012)

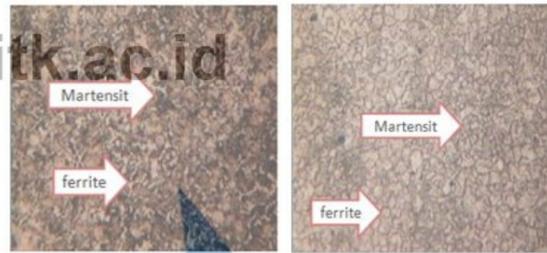
Jumlah dan energi dari sinar-X yang diemisikan dari specimen

tersebut dapat diukur oleh *energy-dispersive spectrometer*. Energi dari sinar X yang dihasilkan merupakan karakteristik dari perbedaan energi antara dua kulit, dan juga dari struktur atomik unsur yang diemisikan, hal ini dapat digunakan untuk melakukan pengukuran komposisi unsur-unsur dalam sebuah material. (Sanjaya,2012)

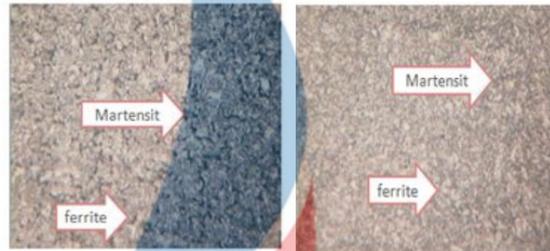
2.12 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan.

No	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1	Abidah, 2019.	<p>Bahan : Arang tempurung kelapa yang digunakan dalam proses <i>carburizing</i> adalah 250 gram dan 20% BaCO₃.</p> <p>Metode : metode yang digunakan ialah metode <i>pack carburizing</i> dengan memakai waktu hold selama 1 – 2 jam dan variasi temperature 845 °C dan 955 °C, Kemudian di <i>quenching</i> dengan media air. Sesudah proses <i>carburizing</i> dilakukan pengujian kekerasan <i>rockwell</i> dan foto struktur mikro.</p> <p>Hasil : Hasil pengujian kekerasan, semakin tinggi temperatur dan <i>holding time</i> semakin keras permukaan material SS400, serta struktur mikro yang banyak terbentuk adalah fase martensit terlihat pda gambar 2.7.</p>



Carburizing dengan 955 °C dan waktu 2 serta 3 jam



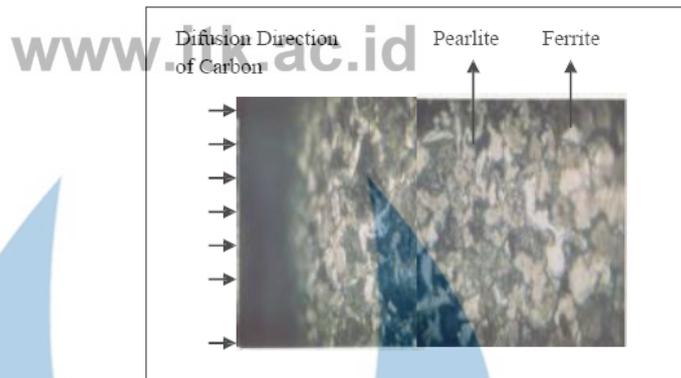
Carburizing dengan 845 °C dan waktu 2 serta 3 jam

Gambar 2.11 Hasil Struktur Mikro pada Jurnal Abidah (Abidah, 2019)

- 2 Darmo, 2019. **Bahan :** Menggunakan energizer yaitu *Pinctada maxima shell* (cangkang tiram mutiara) yang memiliki kandungan CaCO_3 dan karbon menggunakan arang kayu jati dan variasi perbedaan perbandingan dengan Karbon 90, 80 dan 70%wt dan CaCO_3 10, 20 dan 30%wt

Metode : Kemudian variasi temperature dengan 800 dan 950 °C selama 5 jam, dan terakhir di Quenching dengan media oli. Dilanjutkan dengan Rotating Bending Test, observasi dengan SEM (scanning electron microscope), untuk mengetahui kekuatan fatik dan struktur mikro benda uji.

Hasil : Carburizing agent dengan komposisi 30% PMSP dan 70% TWC memberikan peningkatan angka kekerasan permukaan tertinggi tetapi kekuatan fatik terendah. Penyebabnya adalah pembentukan perlit di permukaan semakin meningkat seperti pada gambarr 2.8, karburasi pada kemasan pada temperatur 950 °C dan waktu perendaman selama 5 jam.



Gambar 2.12 Hasil Struktur Mikro pada Jurnal Darmo Dengan Temperatur 950 °C dan Waktu Perendaman 5 jam (Darmo, 2019)

3 Panjaitan, 2015 **Bahan :** BaCO₃ (Barium Karbonat) dan Karburiser arang batok kelapa arang bambu.

Metode : Proses karburising dilakukan pada temperatur 900°C, dengan waktu tahan selama 2 jam. Proses pengerasan dilakukan dengan memanaskan ulang benda uji pada temperatur 900 °C, *holding time* 5 menit, kemudian dicelup ke dalam air bertemperatur 28°C.

Hasil: Nilai kekerasan untuk masing-masing material *quenching*, arang batok kelapa 632.775 VHN, arang bambu 525.510 VHN dan arang kayu 402.344 VHN. Hasil uji struktur mikro memperlihatkan bahwa struktur material baja EMS 45 dengan karburasi arang batok kelapa dominan adalah karbida dalam matrik Perlit . Analisa struktur mikro menunjukkan bahwa pada bagian permukaan tepi material karburasi arang batok kelapa dan arang bambu memiliki kekerasan yang lebih tinggi, hal ini dengan dominannya struktur Pearlit. Sedangkan pada material karburasi arang kayu di dominasi struktur Ferrit.

4 Supriyanto, 2018 **Bahan:** Arang + Na₂CO₃ 20%, mild steel 0,17%
Metode: Temperatur karburisasi 930 °C di tahan selama 2,3 dan 4 jam. Pengukuran kekerasan mikro dilakukan di

sepanjang area penampang pada jarak 50, 100, 200, 500, 700, 1000, 1250 dan 2000 μm dari permukaan.

Hasil: kekerasan tertinggi di 4 jam yaitu 350 HV

- 5 Nurhayanto, 2019 **Bahan :** Arang sekam padi dan arang tempurung kelapa dengan persentase berat sebesar 80% dan bahan kimia aktif aktif (BaCO_3) sebesar 20%.

Metode : Temperatur karburisasi 980 $^{\circ}\text{C}$ di tahan selama 1,2 dan 3 jam untuk media arang sekam padi dan waktu penahanan 2 jam untuk media arang tempurung kelapa.

Hasil : Hasil menunjukkan bahwa media arang tempurung kelapa lebih efektif sebagai media carburizing dibandingkan arang sekam padi. Nilai kekerasan yang mendekati effective case depth berdasarkan standar ISO No. 2639-1973, hanya pada sekam padi dengan waktu penahanan selama 3 jam diperoleh nilai kekerasan sebesar 570 HV dengan kedalaman pengerasan pada 0.13 mm. Sehingga jika menggunakan media arang sekam padi untuk proses pack carburizing waktu yang digunakan lebih dari 3 jam.

- 6 Negara, 2015 **Bahan :** Baja karbon rendah dan media karburasi (carburizer) campuran 80% arang bambu dan 20% BaCO_3 sebagai energizer.

Metode : Temperatur karburisasi 950 $^{\circ}\text{C}$ di tahan selama 4 jam dan didinginkan oleh udara.

Hasil : Menunjukkan bahwa setelah dikarburizing baja karbon rendah mengalami perubahan sifat mekanis. Kekerasan raw material sebesar 183,60 HV1 meningkat 100,68 % menjadi 368,46 HV1 setelah dikarburizing. Demikian juga kekuatan luluh dan kekuatan tarik yang semula 31,99 kg/mm² dan 42,08 HV1 kg/mm² meningkat secara berturut turut menjadi 48,94 kg/mm² dan 55,05 kg/mm².
