



Analisa Pengaruh Variasi Temperatur dan *Holding Time* pada Proses Pack Carburizing Baja ASTM A36 Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro dan Laju Korosi

Muhammad Akmaluddin Burhani^{1*}, Edi Santoso²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Indonesia

E-mail: muhammadakmaluddinburhani@gmail.com, edisantoso@untag-sby.ac.id

*Penulis Korespondensi: muhammadakmaluddinburhani@gmail.com

Abstract. ASTM A36 steel has relatively low hardness and corrosion resistance, making surface treatment necessary to improve its material properties. This study aims to determine the effect of temperature and holding time variations in the pack carburizing process on the hardness, corrosion rate, and microstructure of ASTM A36 steel. The pack carburizing process was carried out using coconut shell charcoal as the carburizing medium with temperature variations of 850°C, 900°C, and 950°C and holding times of 20, 40, and 60 minutes, followed by quenching in distilled water. Hardness testing was conducted using the Rockwell B scale (HRB) method, corrosion rate testing was performed according to the ASTM G31 method, and microstructural observations were carried out using Scanning Electron Microscopy (SEM). The results showed that increasing the temperature and holding time improved the hardness and corrosion resistance of ASTM A36 steel. The highest hardness value was obtained at a temperature of 950°C with a holding time of 60 minutes, reaching 114.1 HRB. Microstructural analysis revealed the formation of a martensitic phase on the specimen surface after the carburizing process.

Keywords: ASTM A36 Steel; Hardness; Holding Time; Pack Carburizing; Temperature.

Abstrak. Baja ASTM A36 memiliki tingkat kekerasan dan ketahanan korosi yang relatif rendah sehingga diperlukan perlakuan permukaan untuk meningkatkan sifat materialnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur dan waktu penahanan (*holding time*) pada proses pack carburizing terhadap kekerasan, laju korosi, dan struktur mikro baja ASTM A36. Proses pack carburizing dilakukan menggunakan arang tempurung kelapa sebagai media karburisasi dengan variasi temperatur 850°C, 900°C, dan 950°C serta waktu penahanan 20, 40, dan 60 menit, kemudian dilanjutkan dengan proses quenching menggunakan air suling (*distilled water*). Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Rockwell skala B (HRB), pengujian laju korosi mengacu pada standar ASTM G31, sedangkan pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur dan waktu penahanan mampu meningkatkan nilai kekerasan serta ketahanan korosi baja ASTM A36. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada temperatur 950°C dengan waktu penahanan 60 menit, yaitu sebesar 114,1 HRB. Analisis struktur mikro menunjukkan terbentuknya fasa martensit pada permukaan spesimen setelah proses pack carburizing.

Kata Kunci: ASTM A36 Steel; Hardness; Holding Time; Pack Carburizing; Temperature.

1. LATAR BELAKANG

Baja merupakan material yang memiliki peranan penting dalam perkembangan teknologi dan dunia industri karena dapat digunakan pada berbagai aplikasi struktural maupun mekanis. Material ini dipilih karena memiliki kekuatan yang baik, mudah difabrikasi, serta tersedia dalam jumlah besar. Penggunaan baja banyak dijumpai pada konstruksi jembatan, bangunan, peralatan mesin, alat transportasi, hingga komponen pendukung di lingkungan laut yang bersifat sangat korosif. Seiring dengan berkembangnya dunia industri dan meningkatnya tuntutan terhadap kualitas produk, kebutuhan akan baja dengan performa tinggi juga semakin meningkat. (Putra Parmita et al., 2021).

Namun demikian, baja ASTM A36 ini memiliki kekurangan pada sifat kekerasan dan ketahanan ausnya yang rendah serta mudah mengalami korosi bila diaplikasikan pada lingkungan yang lembab. Kekurangan sifat tersebut dapat menyebabkan penurunan umur pakai komponen, meningkatkan frekuensi penggantian serta biaya pemeliharaan, dan menimbulkan potensi kegagalan dalam penggunaannya.

Situasi ini menuntut adanya upaya peningkatan performa baja terutama dalam aspek ketahanan korosi dan kekerasan permukaan. Salah satu pendekatan yang diyakini mampu meningkatkan sifat permukaan baja adalah proses karburisasi, yaitu perlakuan panas yang bertujuan untuk meningkatkan kadar karbon pada lapisan permukaan baja saat berada pada fase austenit. Setelah proses pemanasan, pendinginan cepat dilakukan untuk menghasilkan fasa martensit pada lapisan permukaan yang memiliki kekerasan dan ketahanan korosi lebih baik dibanding ferrit dan pearlit. (Johan et al., 2026)

Dari berbagai metode karburisasi, pack carburizing menjadi pilihan yang dapat dilakukan dengan alat sederhana, biaya rendah, serta mampu menghasilkan peningkatan sifat permukaan yang signifikan. Pada proses ini, material baja dikemas dalam media padat dari arang batok kelapa yang membantu reaksi difusi karbon. Proses pemanasan dilakukan pada temperatur austenit dalam waktu tertentu hingga atom karbon terdifusi masuk ke permukaan baja dan membentuk lapisan pengerasan (Prabowo et al., 2023).

Dalam proses pack carburizing, temperatur pemanasan dan holding time (waktu tahan) merupakan parameter paling penting yang menentukan tingkat difusi karbon, ketebalan lapisan karburisasi, serta transformasi mikrostruktur yang terbentuk. Peningkatan temperatur membuat atom bergerak lebih cepat sehingga mempercepat difusi karbon ke dalam baja, sedangkan waktu tahan yang lebih lama memberi kesempatan karbon menyebar lebih dalam membentuk lapisan martensit yang lebih tebal.

Penelitian ini memiliki perbedaan dibandingkan penelitian sebelumnya. Sebagian besar penelitian terdahulu hanya meneliti pengaruh satu parameter saja misalnya temperatur atau waktu tahan terhadap kekerasan atau ketahanan aus tanpa memperhatikan hubungan terhadap laju korosi. Selain itu, pemilihan media pack carburizing yang ramah lingkungan dan ekonomis juga menjadi tantangan penting dalam rekayasa material modern. Selama ini, media karbon aktif banyak digunakan, tetapi biaya dan isu keberlanjutan menjadi pertimbangan baru dalam pengembangan teknologi industri. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah biomaterial seperti arang batok kelapa dapat mengurangi limbah lingkungan, efisiensi biaya, dan memiliki kandungan aktif untuk proses karburisasi.

Penelitian ini menggunakan baja ASTM A36 untuk proses carburizing dengan menggunakan media batok kelapa dengan variasi temperatur 850°C, 900°C, dan 950°C serta waktu penahanan 20 menit, 40 menit, dan 60 menit, dengan proses pendinginan menggunakan air aquades yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur dan waktu penahanan pada baja ASTM A36 terhadap kekerasan, laju korosi dan struktur mikro.

2. KAJIAN TEORITIS

Baja

Baja merupakan paduan logam yang tersusun dari unsur utama besi (Fe) dan karbon (C), serta dapat mengandung unsur tambahan lainnya seperti mangan (Mn), nikel (Ni), krom (Cr), atau molibdenum (Mo) untuk meningkatkan sifat mekanis dan ketahanan terhadap korosi. Proses pembuatan baja melibatkan berbagai tahapan teknik seperti peleburan, pengecoran, dan penempaan hingga menghasilkan material dengan sifat yang diinginkan. Karena memiliki kekuatan tinggi, mudah dibentuk, dan dapat dilas, baja menjadi bahan dasar yang sangat penting dalam berbagai bidang teknik, terutama dalam konstruksi bangunan, pembuatan mesin, serta industri otomotif.

Baja ASTM A36

Baja ASTM A36 merupakan jenis baja karbon rendah (low carbon steel) yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi konstruksi dan rekayasa material. Baja ini memiliki kandungan karbon sekitar 0,25%, sehingga sangat cocok digunakan dalam bidang industri seperti konstruksi jembatan, struktur bangunan, roda gigi, dan konstruksi kapal. Dalam dunia industri, baja ASTM A36 banyak diaplikasikan pada rangka jembatan, struktur bangunan, rangka kendaraan, roda gigi, serta komponen mesin. Karena sifat lasnya yang sangat baik. Meskipun kekerasannya lebih rendah dibanding baja karbon sedang seperti S45C, baja ASTM A36 tetap menjadi pilihan utama untuk pekerjaan fabrikasi dan konstruksi karena kombinasi antara kekuatan, keuletan, dan kemudahan pengerjaan yang sangat baik. Dengan demikian, baja ASTM A36 termasuk kategori baja yang banyak digunakan di industri teknik sipil dan manufaktur. (Oktarina, 2022)

Perlakuan Panas

Perlakuan panas adalah proses pemanasan dan pendinginan terkendali untuk mengembangkan struktur metalurgi yang sesuai atau perubahan dalam fisik (internal) material. Proses ini dilakukan pada suhu di bawah titik leleh logam dan bertujuan untuk memperoleh sifat yang diinginkan sesuai kebutuhan, seperti meningkatkan kekerasan, keuletan, dan ketahanan aus. Dalam dunia industri, perlakuan panas menjadi tahap penting setelah proses

pembentukan logam seperti pengecoran, penempaan, atau pengelasan agar logam memiliki kualitas yang lebih baik.

Tujuan utama perlakuan panas pada baja adalah untuk memperbaiki dan menyesuaikan sifat mekanisnya sesuai penggunaan. Beberapa tujuan tersebut antara lain meningkatkan kekerasan, menambah keuletan dan ketangguhan agar baja tidak mudah patah, menghilangkan tegangan sisa akibat proses pengerjaan, memperbaiki struktur mikro agar lebih seragam, serta meningkatkan kemampuan mesin dan kemampuan las. Selain itu, perlakuan panas juga dapat menghasilkan kombinasi sifat tertentu, seperti permukaan yang keras namun bagian dalam tetap ulet, misalnya melalui proses pengerasan permukaan (carburizing atau karburisasi).

Carburizing

Proses penambahan unsur karbon ke dalam permukaan baja, yang dikenal sebagai carburizing atau karburasi, merupakan salah satu bentuk perlakuan termokimia yang dilakukan dengan cara memanaskan material hingga mencapai temperatur austenit, yaitu temperatur di mana fasa austenit stabil. Pemanasan dilakukan dalam atmosfer yang mengandung karbon aktif, sehingga memungkinkan terjadinya difusi atom karbon ke dalam permukaan baja hingga kedalaman tertentu. Setelah proses difusi selesai, baja mengalami proses pendinginan cepat (quenching) guna membentuk lapisan permukaan yang memiliki kekerasan tinggi, sementara bagian inti tetap dalam keadaan lunak dan ulet. (Pramuko Ilmu Purboputro et al., 2023).

Temperatur Pemanasan

Temperatur pemanasan pada pack carburizing adalah temperatur austenit, yaitu temperatur dimana baja dapat mencapai fasa austenit. Karena untuk mendapatkan martensit pada proses ini harus dicapai fasa austenit, karena martensit terbentuk, dari pendinginan cepat dari fasa austenit. Berdasarkan diagram fasa Fe-Fe₃C, baja karbon rendah dengan kadar karbon 0,05–0,32% akan berubah menjadi fasa austenit apabila dipanaskan hingga temperatur di atas 850°C. Pada kondisi ini, kemampuan baja untuk melarutkan karbon meningkat.

Arang Batok Kelapa

Arang batok kelapa merupakan media karburizing padat yang banyak digunakan dalam proses pack carburizing karena memiliki kandungan karbon yang tinggi, struktur pori yang baik, dan kemampuan menghasilkan karbon aktif saat dipanaskan. Arang batok kelapa terbukti mampu menciptakan lingkungan reduktif yang kaya karbon sehingga mempermudah terjadinya difusi karbon ke dalam permukaan baja selama proses pemanasan pada temperatur austenit. Pada tahap pemanasan, media arang batok kelapa mengalami reaksi pembentukan gas CO yang kemudian terurai menjadi karbon bebas, dan karbon inilah yang berdifusi ke permukaan baja. Mekanisme ini menunjukkan bahwa arang batok kelapa memiliki reaktivitas

karbon yang cukup tinggi dan stabil, sehingga dapat digunakan sebagai sumber karbon yang efektif dalam proses karburisasi.

Quenching

Quenching adalah proses pendinginan cepat pada logam panas dengan menggunakan cairan pendingin (quenchant) seperti air, minyak, atau garam. Tujuan utamanya adalah untuk mengubah struktur mikro logam agar menjadi lebih keras dan kuat. (Firmansyah & Arif Irfa', 2014). Proses pelepasan panas saat quenching terjadi dalam tiga tahap. Tahap pertama disebut vapour blanket stage, yaitu saat logam panas bersentuhan dengan cairan pendingin dan membentuk lapisan uap di sekeliling logam yang menghambat perpindahan panas. Tahap kedua disebut boiling stage atau vapour transport stage, di mana lapisan uap pecah karena suhu logam menurun sehingga cairan pendingin menyentuh langsung permukaan logam dan pendinginan berlangsung sangat cepat. Tahap ketiga disebut liquid cooling stage atau convection stage, ketika suhu logam mendekati titik didih cairan dan pendinginan terjadi lebih lambat melalui konduksi dan konveksi.

Pengujian Kekerasan Material dengan Metode Rockwell

Kekerasan Rockwell bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap indentor berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut. Pengujian kekerasan Rockwell dilaksanakan dengan cara menekan permukaan spesimen (benda uji) dengan suatu indentor. Penekanan indentor ke dalam benda uji dilakukan dengan menerapkan beban pendahuluan (beban minor), kemudian ditambah dengan beban utama (beban mayor), lalu beban utama dilepaskan sedangkan beban minor masih dipertahankan.

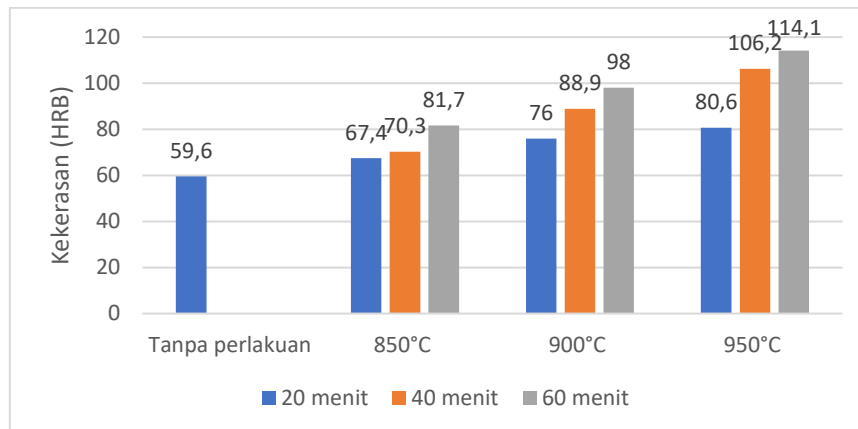
3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen kuantitatif yang bertujuan menganalisis pengaruh proses *pack carburizing* dengan variasi temperatur dan *holding time* terhadap kekerasan, laju korosi, dan struktur mikro baja karbon rendah ASTM A36. Penelitian dilaksanakan di laboratorium pengujian material dan perlakuan panas, dengan waktu penelitian mencakup tahap persiapan, perlakuan spesimen, pengujian, analisis data, hingga penyusunan laporan. Populasi penelitian berupa material baja karbon rendah ASTM A36, sedangkan sampel yang digunakan sebanyak 30 spesimen berukuran 20 mm × 20 mm × 8 mm yang diberi perlakuan *pack carburizing* pada temperatur 850°C, 900°C, dan 950°C dengan variasi *holding time* 20, 40, dan 60 menit. Instrumen penelitian meliputi *furnace heat treatment*, *box carburizing*, mesin uji kekerasan Rockwell, alat uji struktur mikro SEM, timbangan digital,

jangka sorong, serta peralatan pendukung lainnya. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui pengujian kekerasan Rockwell, pengujian laju korosi menggunakan larutan NaCl 3,5% dengan metode kehilangan massa, dan pengamatan struktur mikro menggunakan SEM. Teknik analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian berdasarkan variasi temperatur dan *holding time* untuk mengevaluasi perubahan kekerasan, ketahanan korosi, dan struktur mikro, sehingga diperoleh perlakuan panas yang paling optimal pada baja ASTM A36.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui harga kekerasan dari spesimen terhadap penekanan permukaan serta mengalami serta mengetahui pengaruh dari adanya variasi temperatur 850°C, 900°C, dan 950°C dan variasi waktu tahan 20 menit, 40 menit, dan 60 menit dengan pendinginan air menggunakan baja ASTM A36 berukuran panjang 20 mm, lebar 20 mm dan tebal 8 mm hasil proses pack carburizing dengan media arang batok kelapa dan media pendinginan air aquades. Pengujian menggunakan kekerasan rockwell skala B (HRB) dengan 100 kgf. Pengujian dilakukan di Laboratorium Politeknik Negeri Malang dengan 30 spesimen dan pengunjian kekerasan dilakukan pada 3 titik. Berikut data hasil pengujian dalam bentuk tabel dan grafik untuk proses analisis.



Gambar 1. Diagram kekerasan HRB terhadap variasi temperatur dan waktu tahan.

Grafik menunjukkan perbandingan nilai kekerasan HRB pada baja ASTM A36 dengan beberapa variasi perlakuan, yaitu tanpa perlakuan serta proses carburizing pada temperatur 850°C, 900°C, dan 950°C dengan waktu tahan 20 menit, 40 menit, dan 60 menit. Setiap variasi perlakuan menghasilkan nilai kekerasan yang berbeda, yang dapat dijelaskan sebagai berikut.

Pengaruh perlakuan panas (carburizing)

Tanpa perlakuan: Nilai kekerasan awal sebesar 59,6 HRB menunjukkan sifat dasar material yang relatif lebih lunak karena belum mengalami penambahan karbon pada permukaan. Struktur mikro masih didominasi oleh ferit dan perlit yang memiliki kekerasan rendah. Setelah perlakuan: Terjadi peningkatan kekerasan pada seluruh variasi temperatur dan waktu tahan. Hal ini menunjukkan bahwa proses carburizing berhasil meningkatkan kandungan karbon pada lapisan permukaan baja, sehingga terbentuk struktur yang lebih keras dan tahan terhadap penetrasi. Semakin tinggi energi panas yang diberikan, maka kemampuan atom karbon untuk berdifusi ke dalam kisi kristal juga semakin besar.

Pengaruh temperatur

850°C: Pada temperatur ini, kekerasan meningkat secara bertahap dari 67,4 HRB (20 menit), 70,3 HRB (40 menit), hingga 81,7 HRB (60 menit). Hal ini menunjukkan bahwa difusi karbon mulai terjadi, namun masih terbatas sehingga peningkatan kekerasan belum maksimal. 900°C: Peningkatan kekerasan menjadi lebih signifikan, yaitu 76 HRB (20 menit), 88,9 HRB (40 menit), dan 98 HRB (60 menit). Temperatur ini memberikan kondisi yang lebih ideal untuk difusi karbon karena energi termal yang lebih tinggi mempercepat pergerakan atom karbon ke dalam material. 950°C: Menghasilkan nilai kekerasan tertinggi, yaitu 80,6 HRB (20 menit), 106,2 HRB (40 menit), dan 114,1 HRB (60 menit). Pada temperatur ini, proses difusi karbon berlangsung sangat cepat dan intensif sehingga menghasilkan lapisan permukaan dengan kandungan karbon tinggi yang berdampak pada peningkatan kekerasan yang sangat signifikan.

Pengaruh waktu tahan

20 Menit: Peningkatan kekerasan sudah mulai terlihat pada semua temperatur, namun nilainya masih relatif rendah karena waktu yang tersedia untuk difusi karbon masih terbatas.

40 Menit: Memberikan peningkatan kekerasan yang cukup signifikan pada seluruh temperatur. Hal ini menunjukkan bahwa waktu tahan ini sudah cukup untuk memungkinkan karbon berdifusi lebih dalam dan merata pada permukaan material.

60 Menit: Menghasilkan nilai kekerasan tertinggi pada setiap temperatur. Hal ini disebabkan oleh semakin lamanya waktu difusi, sehingga karbon yang terserap menjadi lebih banyak dan membentuk lapisan keras yang lebih tebal. Namun demikian, waktu tahan yang terlalu lama juga berpotensi menyebabkan pertumbuhan butir jika tidak dikontrol dengan baik.

Secara umum, grafik menunjukkan tren peningkatan kekerasan yang konsisten seiring dengan kenaikan temperatur dan waktu tahan. Tidak ditemukan penurunan nilai yang signifikan, yang menandakan bahwa proses carburizing berlangsung dengan baik dan stabil pada setiap variasi. Peningkatan yang paling tajam terlihat pada temperatur 900°C ke 950°C,

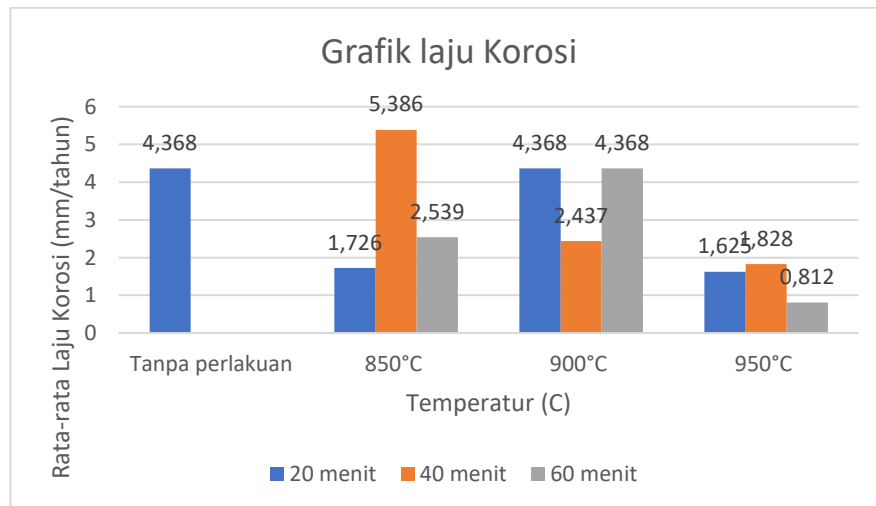
terutama pada waktu tahan 40 dan 60 menit, yang menunjukkan adanya percepatan difusi karbon secara eksponensial terhadap kenaikan temperatur.

Selain itu, selisih nilai kekerasan antar waktu tahan pada temperatur tinggi juga semakin besar, yang mengindikasikan bahwa pengaruh waktu menjadi lebih dominan pada temperatur yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan adanya interaksi antara temperatur dan waktu tahan dalam menentukan tingkat kekerasan akhir material.

Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada temperatur 950°C dengan waktu tahan 60 menit sebesar 114,1 HRB, sedangkan nilai terendah terdapat pada material tanpa perlakuan sebesar 59,6 HRB. Perbedaan yang cukup besar ini menegaskan bahwa proses carburizing sangat efektif dalam meningkatkan sifat mekanik baja, khususnya kekerasan permukaan.

Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa temperatur dan waktu tahan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kekerasan baja ASTM A36. Kombinasi temperatur tinggi dan waktu tahan yang lebih lama memberikan hasil yang paling optimal karena memungkinkan difusi karbon berlangsung secara maksimal, menghasilkan lapisan permukaan yang lebih keras, lebih tahan aus, dan lebih siap digunakan pada aplikasi yang membutuhkan ketahanan terhadap beban dan gesekan tinggi.

Hasil Pengujian Laju Korosi (Weight Loss)



Gambar 2. Grafik Laju Korosi.

Berdasarkan grafik laju korosi yang dihitung menggunakan metode kehilangan berat (weight loss). Dari perhitungan menunjukkan bahwa material tanpa perlakuan memiliki nilai laju korosi yang sama pada semua variasi waktu, yaitu sebesar 4,368 mm/tahun, yang menandakan bahwa tanpa proses perlakuan panas, ketahanan korosi material masih relatif rendah dan belum mengalami perubahan. Pada temperatur 850°C, terjadi variasi yang cukup signifikan, di mana pada waktu tahan 20 menit laju korosi menurun drastis menjadi 1,726

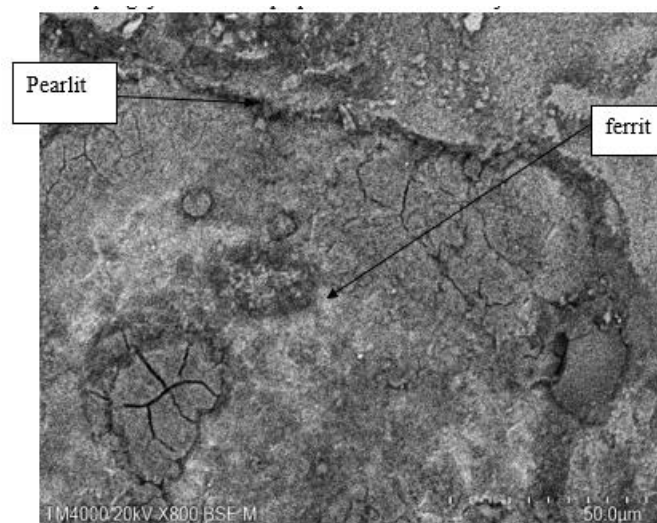
mm/tahun, namun pada 40 menit justru meningkat tajam menjadi 5,386 mm/tahun, kemudian menurun kembali pada 60 menit menjadi 2,539 mm/tahun. Hal ini menunjukkan bahwa waktu tahan yang tidak tepat pada temperatur ini dapat menyebabkan ketidakstabilan struktur material.

Selanjutnya, pada temperatur 900°C, laju korosi pada waktu tahan 20 dan 60 menit berada pada nilai yang sama dengan material tanpa perlakuan, yaitu 4,368 mm/tahun, sedangkan pada 40 menit mengalami penurunan menjadi 2,437 mm/tahun. Hal ini mengindikasikan bahwa pada suhu ini, waktu tahan 40 menit lebih optimal dibandingkan variasi lainnya. Sementara itu, pada temperatur 950°C, seluruh variasi waktu menunjukkan penurunan laju korosi yang signifikan, yaitu 1,625 mm/tahun pada 20 menit, 1,828 mm/tahun pada 40 menit, dan mencapai nilai terendah 0,812 mm/tahun pada 60 menit.

Secara umum, dapat disimpulkan bahwa peningkatan temperatur hingga 950°C yang diikuti dengan waktu tahan yang lebih lama cenderung meningkatkan ketahanan korosi material. Kondisi paling optimal terdapat pada temperatur 950°C dengan waktu tahan 60 menit, karena menghasilkan laju korosi paling rendah, sedangkan kondisi terburuk terjadi pada temperatur 850°C dengan waktu tahan 40 menit. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi temperatur dan waktu tahan sangat berpengaruh terhadap struktur mikro material yang pada akhirnya menentukan ketahanan terhadap korosi.

Hasil Pengujian Struktur Mikro

Berdasarkan hasil pengamatan struktur mikro menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) dengan pembesaran 800x, terlihat adanya perbedaan morfologi permukaan pada setiap spesimen setelah proses pack carburizing. Perbedaan tersebut menunjukkan adanya perubahan struktur mikro akibat pengaruh variasi temperatur dan holding time pada baja

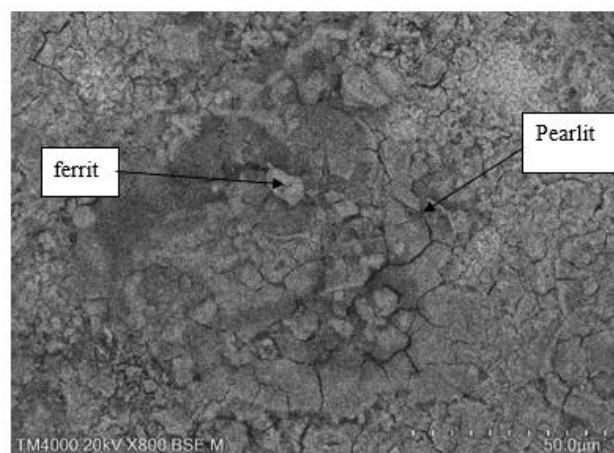


Gambar 3. Tanpa Perlakuan Material Baja ASTM A3.

ASTM A36. Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui perubahan fasa, serta kondisi permukaan spesimen setelah terpapar media korosif larutan NaCl 3,5%. Pengujian dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang.

Hasil pengujian SEM tanpa perlakuan material baja ASTM A3

Dari Gambar diatas menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro pada spesimen tanpa perlakuan panas yang memperlihatkan permukaan baja sebelum proses carburizing. Sementara itu, informasi mengenai nilai kekerasan spesimen tanpa perlakuan panas dapat dilihat pada Tabel kekerasan di atas. Berdasarkan tabel tersebut, nilai kekerasan rata-rata terendah diperoleh pada spesimen tanpa perlakuan panas, yang mencerminkan kondisi material awal sebelum perlakuan. Permukaan baja ASTM A36 yang belum mengalami proses carburizing menunjukkan struktur mikro yang relatif homogen dengan dominasi fase ferrit dan perlit, serta belum terlihat adanya lapisan difusi karbon pada permukaan. Hal ini sejalan dengan nilai kekerasan yang lebih rendah dibandingkan spesimen yang telah mengalami perlakuan, yang menunjukkan bahwa peningkatan kekerasan dipengaruhi oleh terbentuknya lapisan karbon hasil proses carburizing.



Gambar 4. Hasil Pengujian SEM material baja ASTM A36 dengan temperatur 850°C dan holding time 20 menit.

Hasil Pengujian SEM material baja ASTM A36 dengan temperatur 850°C dan holding time 20 menit.

Dari Gambar menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro pada spesimen baja ASTM A36 setelah proses pack carburizing pada temperatur 850°C dengan holding time 20 menit. Berdasarkan hasil pengamatan, terlihat adanya perubahan struktur mikro dibandingkan spesimen tanpa perlakuan panas. Perubahan tersebut ditunjukkan dengan terbentuknya lapisan

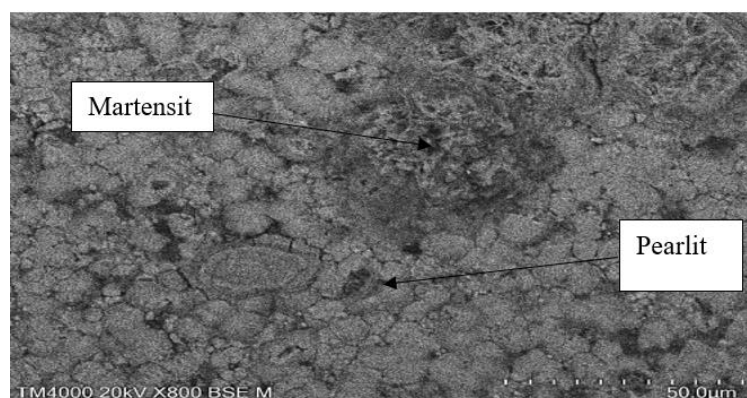
hasil difusi karbon pada permukaan spesimen sehingga struktur mikro tampak lebih padat dan kurang homogen.

Struktur mikro yang terbentuk didominasi oleh fasa ferrit dan perlit. Fasa ferrit ditunjukkan oleh daerah berwarna lebih terang, sedangkan fasa perlit tampak sebagai daerah yang lebih gelap dan bertekstur. Jumlah perlit pada spesimen hasil carburizing terlihat lebih banyak dibandingkan material awal. Kondisi ini menunjukkan bahwa atom karbon berhasil berdifusi ke permukaan baja selama proses pemanasan pada temperatur 850°C sehingga meningkatkan kandungan karbon pada lapisan permukaan.

Selain itu, pada beberapa bagian permukaan terlihat struktur yang lebih rapat dan kasar sebagai indikasi awal terbentuknya struktur yang lebih keras akibat proses pendinginan setelah carburizing. Perubahan struktur mikro tersebut berpengaruh terhadap peningkatan nilai kekerasan material dibandingkan spesimen tanpa perlakuan. Semakin besar kandungan karbon yang berdifusi ke permukaan, maka struktur mikro yang terbentuk cenderung menjadi lebih keras serta memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap deformasi dan serangan korosi.

Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa proses pack carburizing pada temperatur 850°C dengan holding time 20 menit telah mampu meningkatkan difusi karbon pada permukaan baja ASTM A36. Peningkatan kandungan karbon tersebut menyebabkan perubahan struktur mikro yang berdampak pada meningkatnya sifat mekanik material, khususnya nilai kekerasan permukaan.

Hasil Pengujian SEM material baja ASTM A36 dengan temperatur 950°C dan holding time 60 menit.



Gambar 5. Hasil Pengujian SEM material baja ASTM A36 dengan temperatur 950°C dan holding time 60 menit.

Dari Gambar menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro pada spesimen baja ASTM A36 setelah proses pack carburizing pada temperatur 950°C dengan holding time 60 menit. Berdasarkan hasil pengamatan terlihat bahwa struktur mikro mengalami perubahan yang cukup

signifikan dibandingkan spesimen tanpa perlakuan maupun spesimen dengan temperatur yang lebih rendah. Permukaan spesimen tampak lebih rapat, padat, dan didominasi oleh daerah gelap yang menunjukkan meningkatnya kandungan karbon pada lapisan permukaan akibat proses difusi karbon yang berlangsung lebih optimal pada temperatur tinggi dan waktu tahan yang lebih lama.

Pada struktur mikro terlihat dominasi fasa perlit dengan kemungkinan mulai terbentuknya struktur martensit pada beberapa bagian permukaan akibat proses pendinginan setelah carburizing. Fasa ferrit masih terlihat dalam jumlah lebih sedikit dengan ciri daerah berwarna lebih terang, sedangkan daerah gelap dan lebih kasar menunjukkan terbentuknya perlit yang lebih banyak serta struktur keras hasil transformasi pendinginan cepat. Struktur martensit ditandai dengan bentuk yang lebih rapat dan cenderung menyerupai jarum halus sehingga menyebabkan peningkatan kekerasan material.

Semakin tinggi temperatur dan semakin lama holding time, maka difusi karbon ke dalam permukaan baja berlangsung lebih maksimal. Hal tersebut menyebabkan kandungan karbon pada lapisan permukaan meningkat sehingga terbentuk struktur mikro yang lebih keras. Kondisi ini sejalan dengan hasil pengujian kekerasan yang menunjukkan bahwa spesimen temperatur 950°C dengan holding time 60 menit memiliki nilai kekerasan tertinggi dibandingkan variasi lainnya.

Selain meningkatkan kekerasan, terbentuknya struktur yang lebih rapat juga menunjukkan bahwa proses pack carburizing berhasil meningkatkan sifat mekanik permukaan baja ASTM A36. Oleh karena itu, temperatur 950°C dengan holding time 60 menit dapat dikatakan sebagai variasi perlakuan yang paling efektif dalam meningkatkan kekerasan permukaan material melalui proses difusi karbon

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa variasi temperatur dan holding time pada proses pack carburizing memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan sifat mekanik, ketahanan korosi, dan perubahan struktur mikro baja ASTM A36. Semakin tinggi temperatur dan semakin lama waktu penahanan, maka semakin besar nilai kekerasan yang dihasilkan akibat proses difusi karbon yang berlangsung lebih optimal pada permukaan baja. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada temperatur 950°C dengan holding time 60 menit sebesar 114,1 HRB, meningkat secara signifikan dibandingkan material tanpa perlakuan yang hanya memiliki nilai rata-rata 59,6 HRB. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa baja tanpa perlakuan didominasi oleh fasa ferrit dan perlit, sedangkan setelah proses pack

carburizing terbentuk fasa martensit pada lapisan permukaan yang semakin dominan seiring meningkatnya temperatur dan waktu penahanan. Selain itu, penggunaan arang batok kelapa sebagai media karburisasi terbukti efektif dalam meningkatkan ketahanan korosi melalui pembentukan lapisan permukaan yang lebih padat dan kaya karbon. Arang batok kelapa juga memiliki keunggulan berupa kandungan karbon yang tinggi, mudah diperoleh, biaya yang relatif murah, serta lebih ramah lingkungan dibandingkan media karbon lainnya. Berdasarkan hasil tersebut, disarankan agar penelitian selanjutnya mengembangkan variasi parameter proses, seperti temperatur, holding time, media pendingin (quenching), maupun penggunaan sumber karbon alternatif dari limbah biomassa lainnya untuk memperoleh hasil yang lebih optimal. Selain itu, perlu dilakukan pengujian lanjutan, seperti uji keausan, analisis kedalaman difusi karbon, ketebalan lapisan karburisasi, serta karakterisasi fasa menggunakan X-Ray Diffraction (XRD), sehingga diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai perubahan sifat material akibat proses pack carburizing dan dapat menjadi acuan dalam penerapannya pada berbagai komponen industri yang menggunakan baja ASTM A36.

DAFTAR REFERENSI

- Campanella, O. H. (2015). Heat treatment: Principles and techniques. In *Encyclopedia of Food and Health*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00371-8>
- Collins, S. P., Storrow, A., Liu, D., Jenkins, C. A., Miller, K. F., Kampe, C., & Butler, J. (2021). Pengaruh temperatur dan *holding time* dalam proses tempering terhadap sifat mekanik pipa low carbon steel low alloy grade X65Q. *Journal of Metallurgical Engineering and Processing Technology*, 3(7), 167–186.
- Fauzan, F. N. (2023). Analisis pengaruh proses variasi temperatur pack carburizing arang sekam padi terhadap kekerasan. *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 8(1).
- Feby Kumayasari, M., & Indro Sultoni, A. (2017). Studi uji kekerasan Rockwell superficial vs micro Vickers. *Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi Industri*, 2(2), 85–89.
- Firmansyah, A. A., & Arif Irfa', M. (2014). Analisa struktur mikro dan kekerasan baja S45C pada proses quench-temper dengan media pendingin air. *JTM*, 3(1), 113–119.
- Imamudeen, B., & Singh, S. (2020). High-speed quenching of high carbon steel. *International Journal of Research - GRANTHAALAYAH*, 7(12), 25–31. <https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v7.i12.2019.297>
- Johan, C., Barrung, R. J., Pasae, N., Rahab, M., Studi, P., Mesin, T., & Musamus, U. (2026). Analisa korelasi pengaruh jenis arang pada proses pack carburizing terhadap keausan baja ST 37, 4, 1496–1508.
- Lin, F. (2024). A review of cooling in the industry. *Applied and Computational Engineering*, 61(1), 210–215. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/61/20240958>
- Oktarina, K. (2022). Analisa perbandingan kekuatan bending material plat kapal HLB4P004 dengan ASTM A36 menggunakan variasi kuat arus. *Jurnal Inovator*, 5(2), 23. <https://doi.org/10.37338/ji.v5i2.224>

- Prabowo, I., Ichsanudin, M., Wibowo, A. H., Paundra, F., & Pujiyulianto, E. (2023). Peningkatan nilai kekerasan baja karbon rendah AISI 1018 melalui proses *pack carburizing* dengan media batok kelapa. *Journal of Metallurgical Engineering and Processing Technology*, 3(2), 125. <https://doi.org/10.31315/jmept.v3i2.8701>
- Pramuko Ilmu Purboputro, Sartono Putro, & Djoeli Satrijo. (2023). Analisis proses *carburizing* dengan variasi waktu tahan 15, 30, 45, dan 60 menit terhadap kekerasan dan struktur mikro baja karbon ST 60. *JTTM: Jurnal Terapan Teknik Mesin*, 4(1), 55–63.
- Putra Parmita, A. W. Y., Priyandoko, B. C., Dewanto, H. A., Tanjung, R. A., Bramantyo, S. A., & Febriyanto, R. (2021). Analisis pengaruh variasi temperatur proses *pack carburizing* terhadap laju korosi material baja karbon ASTM A36. *SPECTA Journal of Technology*, 5(2), 186–195. <https://doi.org/10.35718/specta.v5i2.279>
- S. Sujita, I. D. K. Okariawan, & L. H. (2023). Karakteristik sifat mekanik baja ASTM A36 pada *pack carburizing* dengan media karburasi campuran arang tempurung kelapa dan serbuk tulang kambing, 13(1), 57–63.
- Sverdlin, A. V., & Ness, A. R. (2006). Effects of alloying elements on the heat treatment of steel. In *Steel Heat Treatment: Metallurgy and Technologies* (pp. 121–164). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/nof0849384523-8>
- Syarief, A., Dali, D., & Ramadhan, M. N. (2020). Pengaruh perendaman dengan larutan NaCl terhadap laju korosi dan kekerasan variasi kampuh las spesimen uji tekan baja S45C. *Elemen: Jurnal Teknik Mesin*, 7(2), 167–171. <https://doi.org/10.34128/je.v7i2.128>