

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 Program Studi Teknik Mesin, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Indonesia, muhammadakmaluddinburhani@gmail.com.

² Program Studi Teknik Mesin, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Indonesia, edisantoso@untag-sby.ac.id.

Abstract: *Although ASTM A36 remains a popular structural steel, its surface tends to be soft and corrodes fairly easily, which is why some kind of surface hardening is often needed before it can hold up in demanding environments. This study looked at how changing the temperature and holding time during pack carburizing affects hardness, corrosion behavior, and microstructure in ASTM A36. Coconut shell charcoal was used as the carburizing agent at three temperatures 850°C, 900°C, and 950°C each paired with holding times of 20, 40, and 60 minutes, followed by water quenching. Hardness was measured on the Rockwell B scale, corrosion rate followed the ASTM G31 weight-loss procedure, and SEM was used to examine the resulting microstructure. Both higher temperature and longer holding time turned out to improve hardness and corrosion resistance, with the best result 114.1 HRB reached at 950°C after a 60-minute hold. SEM images also showed a martensitic layer forming on the treated surface.*

Keywords: *ASTM A36 Steel; Pack Carburizing; Temperature; Holding Time; Hardness; Corrosion Rate; Micro-structure.*

Abstrak: Baja ASTM A36 memang banyak dipakai untuk kebutuhan struktural, tetapi permukaannya cenderung lunak dan mudah terserang korosi, sehingga perlu perlakuan tambahan agar lebih tahan pada kondisi kerja yang berat. Penelitian ini mengamati bagaimana perubahan temperatur dan holding time pada proses pack carburizing memengaruhi kekerasan, perilaku korosi, dan struktur mikro baja ASTM A36. Arang batok kelapa dipakai sebagai media karburisasi pada tiga temperatur 850°C, 900°C, dan 950°C masing-masing dipasangkan dengan holding time 20, 40, dan 60 menit, lalu didinginkan cepat dengan air. Kekerasan diukur memakai skala Rockwell B, laju korosi mengikuti prosedur kehilangan berat ASTM G31, dan SEM dipakai untuk melihat struktur mikro yang terbentuk. Baik kenaikan temperatur maupun perpanjangan holding time sama-sama memperbaiki kekerasan dan ketahanan korosi, dengan hasil terbaik 114,1 HRB dicapai pada 950°C setelah ditahan 60 menit. Gambar SEM juga memperlihatkan terbentuknya lapisan martensit di permukaan yang telah diberi perlakuan.

Kata Kunci : Baja ASTM A36; *Pack Carburizing*; Temperatur; *Holding Time*; Kekerasan; Laju Korosi; Struktur mikro

1. Pendahuluan

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.

Ada beberapa hal yang membedakan penelitian ini dari penelitian-penelitian sebelumnya. Kalau ditelusuri, kebanyakan studi terdahulu cenderung fokus pada satu variabel saja misalnya hanya melihat pengaruh temperatur, atau hanya waktu tahan terhadap kekerasan atau ketahanan aus, tanpa mengaitkannya dengan laju korosi sama sekali. Padahal, memilih media pack carburizing yang murah sekaligus ramah lingkungan juga jadi isu tersendiri dalam pengembangan material saat ini. Karbon aktif memang sering dipakai, tapi soal biaya dan keberlanjutannya mulai jadi pertimbangan serius belakangan ini. Atas dasar itu, penelitian ini mencoba memanfaatkan arang batok kelapa limbah biomaterial yang selain menekan sampah, juga lebih hemat dan tetap punya kandungan karbon aktif yang dibutuhkan untuk 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. Tinjauan Literatur

2.1. 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.

2.2 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)

2.3 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).

2.4 Carburizing

Carburizing bisa dipahami sebagai perlakuan termokimia untuk menambah kadar karbon pada lapisan luar baja. Caranya, benda kerja dipanaskan sampai mencapai suhu austenit, yaitu kondisi di mana fase austenit berada dalam keadaan stabil. Selama pemanasan ini, atmosfer di sekitar benda kerja dibuat kaya karbon aktif, sehingga karbon bisa berdifusi masuk ke permukaan baja hingga kedalaman tertentu. Begitu tahap difusi selesai, baja langsung didinginkan cepat (quenching) agar lapisan permukaannya mengeras, sementara bagian intinya tetap lunak dan ulet (Pramuko Ilmu Purboputro et al., 2023).

2.5 Temperatur Pemanasan

Dalam proses pack carburizing, temperatur pemanasan merujuk pada suhu yang dibutuhkan agar baja bisa mencapai fase austenit lebih dulu. Ini penting karena martensit — fase akhir yang justru ingin dicapai lewat proses ini — hanya bisa terbentuk melalui pendinginan cepat dari kondisi austenit tersebut. Merujuk pada diagram fasa Fe-Fe₃C, baja berkadar karbon rendah (sekitar 0,05–0,32%) akan berubah menjadi fase austenit begitu dipanaskan melewati suhu 850°C. Semakin tinggi suhu yang diberikan, semakin besar pula kemampuan baja untuk melarutkan karbon ke dalam strukturnya.

2.6 Arang Batok Kelapa

Arang batok kelapa cukup sering dipilih sebagai media pack carburizing karena beberapa alasan praktis: kandungan karbonnya tinggi, strukturnya berpori sehingga cocok untuk media pengemasan, dan saat dipanaskan ia mudah menghasilkan karbon aktif. Sifat-sifat ini membuatnya efektif menciptakan suasana kaya karbon di sekitar benda kerja, sehingga karbon lebih mudah berdifusi masuk ke permukaan baja selama proses pemanasan. Mekanismenya sendiri terjadi lewat reaksi pembentukan gas CO saat arang dipanaskan; gas ini kemudian terurai menjadi karbon bebas yang langsung menempel dan berdifusi ke permukaan logam. Karena reaktivitas karbonnya cukup stabil dan konsisten, arang batok kelapa bisa diandalkan sebagai sumber karbon dalam proses karburisasi.

2.7 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.

2.8 Pengujian Kekerasan Material dengan Metode Rockwell

Uji Rockwell dipakai untuk mengetahui seberapa keras suatu material, dilihat dari seberapa besar ketahanannya menahan penetrasi indenter bisa berupa bola baja atau kerucut intan yang ditekan ke permukaan benda uji. Pengujiannya dilakukan bertahap: mula-mula indenter ditekan dengan beban ringan (beban minor) untuk memastikan kontak awal yang stabil, lalu beban ditambah dengan beban utama yang lebih besar (beban mayor). Setelah itu beban mayor dilepas, sementara beban minor tetap dipertahankan, dan selisih kedalaman penetrasinya itulah yang menjadi dasar pembacaan nilai kekerasan.

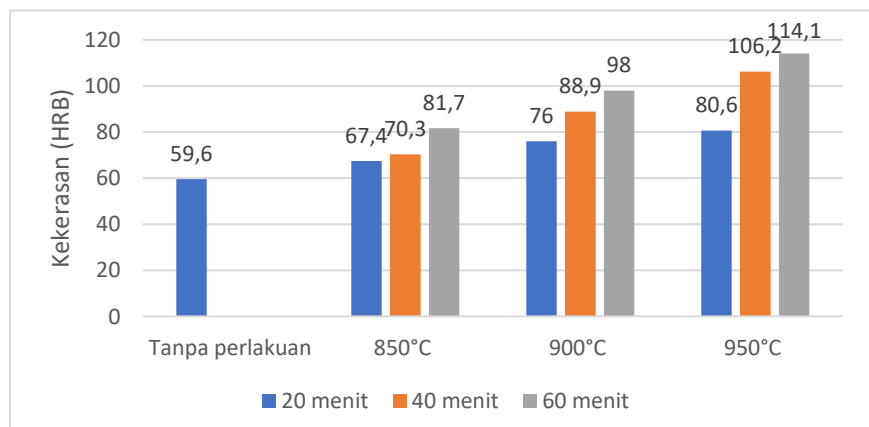
3. Metode

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

4.1 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian ini membandingkan beberapa kondisi: spesimen tanpa perlakuan sebagai pembanding, serta spesimen yang telah melalui proses carburizing pada tiga 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 pengujian 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, 40 dan 60 menit. Setiap variasi perlakuan menghasilkan nilai kekerasan yang berbeda, yang dapat dijelaskan sebagai berikut.

a. 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.

b. 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.

c. 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.

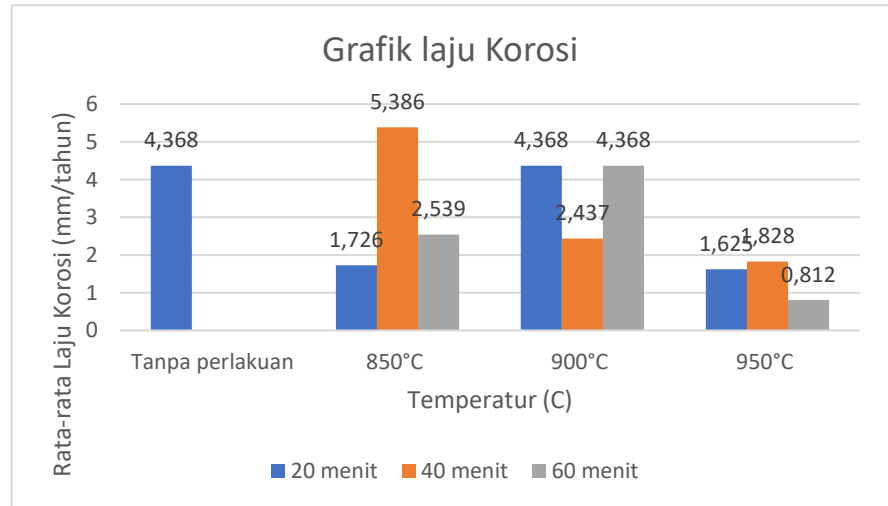
Selain itu, selisih nilai kekerasan antar waktu tahan pada temperatur tinggi juga semakin besar, yang mengindikasikan bahwa pengaruh waktu menjadi lebih dominan pada temperatur yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan adanya interaksi antara temperatur dan waktu tahan dalam menentukan tingkat kekerasan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

Kalau dibandingkan, selisihnya cukup mencolok: kombinasi 950°C dan 60 menit mencatat kekerasan tertinggi, 114,1 HRB, sementara spesimen tanpa perlakuan hanya berada di angka 59,6 HRB. Jarak yang lebar ini jadi bukti kuat bahwa carburizing memang berdampak nyata terhadap sifat mekanik baja, khususnya kekerasan permukaannya.

Dari data ini bisa disimpulkan bahwa temperatur dan waktu tahan sama-sama berperan penting dalam mendongkrak 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.

4.2 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.

Dari seluruh variasi yang diuji, kombinasi 950°C dengan waktu tahan 60 menit memberi hasil paling baik karena laju korosinya paling rendah di antara semua perlakuan, 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.

4.3 Hasil Pengujian Struktur Mikro

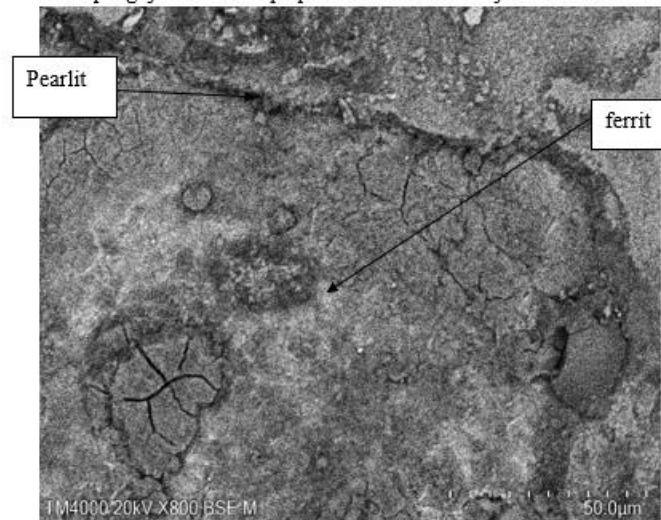
Berdasarkan hasil pengamatan struktur mikro menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) dengan pembesaran 800x, terlihat adanya perbedaan morfologi permukaan pada setiap spesimen setelah proses pack carburizing. Perbedaan tersebut menunjukkan adanya perubahan struktur mikro akibat pengaruh variasi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

a. Hasil pengujian SEM tanpa perlakuan material baja ASTM A3

Gambar 3. Tanpa Perlakuan Material Baja ASTM A3

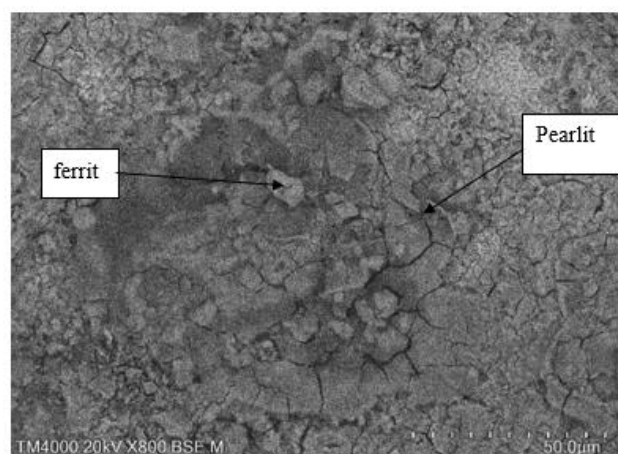
Dari Gambar diatas menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro pada spesi-
men tanpa perlakuan panas yang memperlihatkan permukaan baja sebelum proses



carburizing. Sementara itu, informasi mengenai nilai kekerasan spesimen tanpa perla-
kuan 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 ren-
dah dibandingkan spesimen yang telah mengalami perlakuan, yang menunjukkan
bahwa peningkatan kekerasan dipengaruhi oleh terbentuknya lapisan karbon hasil
proses carburizing.

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

**Gambar 4. Hasil Pengujian SEM material baja ASTM A36 dengan tempera-
tur 850°C dan holding time 20 menit**



Dari Gambar menampilkan struktur mikro pada spesimen baja ASTM A36
bahwa pada proses carburizing pada temperatur 850°C dengan holding time 20 menit.
Berdasarkan hasil pengamatan, terlihat adanya perubahan struktur mikro

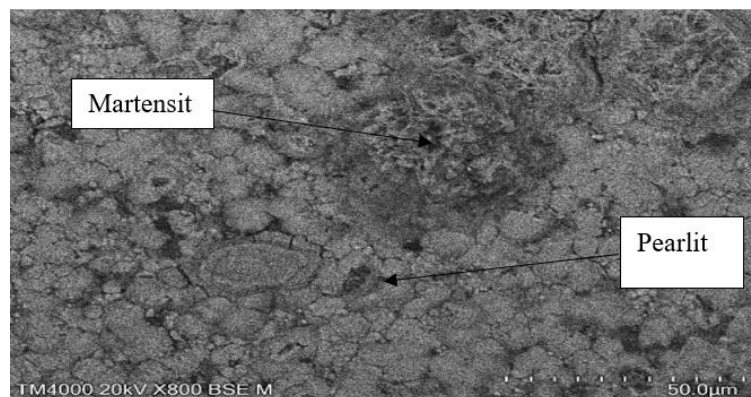
dibandingkan spesimen tanpa perlakuan panas. Perubahan tersebut ditunjukkan dengan terbentuknya lapisan hasil difusi karbon pada permukaan spesimen sehingga struktur mikro tampak lebih padat dan kurang homogen.

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.

c. 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 menampilkan struktur mikro pada spesimen baja ASTM A36 melewati 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.

6. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai pengaruh variasi temperatur dan holding time pada proses pack carburizing baja ASTM A36 terhadap kekerasan, laju korosi, dan struktur mikro, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi temperatur dan holding time pada proses pack carburizing berpengaruh signifikan terhadap peningkatan nilai kekerasan baja ASTM A36. Semakin tinggi temperatur dan semakin lama waktu penahanan, maka nilai kekerasan yang dihasilkan semakin meningkat. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada temperatur 950°C dengan holding time 60 menit sebesar 114,1 HRB, sedangkan material tanpa perlakuan memiliki nilai rata-rata sebesar 59,6 HRB.
2. Peningkatan temperatur dan holding time menyebabkan proses difusi karbon ke dalam permukaan baja berlangsung lebih optimal. Hal ini menyebabkan terbentuknya lapisan permukaan yang lebih keras akibat meningkatnya kandungan karbon pada permukaan spesimen setelah proses quenching.
3. Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa spesimen tanpa perlakuan didominasi oleh struktur ferrit dan pearlit, sedangkan spesimen setelah proses pack carburizing menunjukkan terbentuknya struktur martensit pada lapisan permukaan. Struktur martensit yang terbentuk semakin dominan pada temperatur tinggi dan waktu tahan yang lebih lama.
4. Proses pack carburizing menggunakan media arang batok kelapa mampu meningkatkan ketahanan korosi baja ASTM A36. Hal ini disebabkan oleh terbentuknya lapisan permukaan yang lebih padat dan kaya karbon sehingga menghambat terjadinya proses korosi pada material.
5. Arang batok kelapa terbukti jadi pilihan sumber karbon yang efektif untuk pack carburizing kandungan karbonnya tinggi, mudah didapat, biayanya relatif murah, dan lebih ramah lingkungan dibanding media karbon lainnya.

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>
- 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. *JITM: 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/jt.v7i2.128>
- 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.