E-ISSN: 3025-0994
Halaman 1496-1508
Volume 4 Nomor 2 Tahun 2026

Analisa Korelasi Pengaruh Jenis Arang pada Proses *Pack Carburizing* Terhadap Keausan Baja ST 37

Nitha[1*], Chendri Johan[2], Rivaldo Julio Barrung[3], Nofrianto Pasae[4], Rahab M Bako[5]

[1,2,3,4] Program Studi Teknik Mesin, Universitas Kristen Indonesia Toraja
[5] Program Studi Teknik Mesin, Universitas Musamus
e-mail: nithamaska@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jenis arang dalam proses pack carburizing terhadap laju keausan baja karbon rendah ST 37. Baja ST 37 dipilih karena karakteristiknya yang ulet namun memiliki kekerasan permukaan yang rendah, sehingga rentan terhadap keausan. Untuk meningkatkan ketahanan aus, dilakukan perlakuan panas melalui metode pack carburizing dengan menggunakan empat jenis arang berbeda: arang tempurung kelapa, arang kayu cemara, arang buah pinus, dan arang tulang kerbau. Setiap media arang dicampur dengan 10% $NaCO_3$ sebagai energizer, dipanaskan pada suhu 800°C selama 1 jam, lalu didinginkan dengan media air. Pengujian keausan dilakukan menggunakan metode abrasif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa jenis arang sangat berpengaruh terhadap laju keausan. Spesimen tanpa perlakuan (raw material) memiliki laju keausan tertinggi sebesar 0,0076 gr/s, sementara spesimen dengan perlakuan menggunakan arang tulang kerbau menunjukkan laju keausan terendah sebesar 0,0038 gr/s. Analisa korelasi menghasilkan koefisien korelasi (r) sebesar -0,85, yang mengindikasikan hubungan negatif yang kuat antara jenis arang dengan laju keausan. Hal ini menunjukkan bahwa variasi jenis arang berpengaruh terhadap terhadap laju keausan sebesar sebesar 72,25%. Dan arang tulang kerbau merupakan media karbon terbaik untuk meningkatkan ketahanan aus baja ST 37 pada proses pack carburizing.

Kata Kunci: Baja ST 37, Keausan, Arang, Pack Carburizing, Chemical Treatment, $Naco_3$.

Abstract

This study aims to determine the effect of variations in charcoal types in the pack carburizing process on the wear rate of ST 37 low-carbon steel. ST 37 steel was chosen because of its tenacious characteristics but low surface hardness, making it susceptible to wear. To increase wear resistance, heat treatment is carried out through the pack carburizing method using four different types of charcoal: coconut shell charcoal, cypress wood charcoal, pine fruit charcoal, and buffalo bone charcoal. Each charcoal medium is mixed with 10% $NaCO_3$ as an energizer, heated at 800°C for 1 hour, and then cooled with a water medium. Wear

testing is carried out using abrasive methods. The test results show that the type of charcoal has a great effect on the rate of wear. Untreated specimens (raw material) had the highest wear rate of 0.0076 gr/s, while specimens treated using buffalo bone charcoal showed the lowest wear rate of 0.0038 gr/s. Correlation analysis yielded a correlation coefficient (r) of -0.85, which indicated a strong negative relationship between the type of charcoal and the wear rate. This shows that the variation in the type of charcoal has a correlation to the wear rate of 72.25%. And buffalo bone charcoal is the best carbon medium to increase the wear resistance of ST 37 steel in the pack carburizing process.

Keywords : ST 37 Steel, Wear, Charcoal, Carburizing Pack, Chemical Treatment, $NaCO_3$.

LATAR BELAKANG

Carburizing adalah salah satu proses perlakuan panas *(heat treatment)* yang bertujuan untuk meningkatkan kandungan karbon pada permukaan baja, khususnya baja karbon rendah. Proses ini dilakukan dengan memanaskan material pada temperatur tinggi (850–950°C) dalam lingkungan yang kaya karbon sehingga atom karbon dapat berdifusi ke dalam permukaan material. Hasil akhirnya adalah lapisan luar yang keras dan tahan aus, sementara bagian inti tetap lunak dan ulet, sehingga cocok untuk komponen yang mengalami beban gesek dan kejut (Callister & Rethwisch, 2014).

Secara umum, proses carburizing memanfaatkan fenomena difusi atom karbon ke dalam kisi kristal besi. Difusi ini mengikuti prinsip Hukum Fick, di mana perpindahan atom dipengaruhi oleh gradien konsentrasi, temperatur, dan waktu. Semakin tinggi temperatur dan semakin lama waktu penahanan, maka semakin dalam penetrasi karbon ke dalam material. Hal ini berpengaruh langsung terhadap ketebalan lapisan keras *(case depth)* yang terbentuk (Totten, 2006).

Pada tingkat mikrostruktur, karbon yang berdifusi akan larut dalam fasa austenit selama pemanasan. Setelah proses carburizing selesai, material biasanya didinginkan secara cepat (quenching) untuk membentuk martensit pada lapisan permukaan. Martensit merupakan struktur yang sangat keras, sehingga meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus secara signifikan dibandingkan kondisi awal material (ASM International, 2013). Reaksi kimia yang terjadi selama carburizing, khususnya pada metode gas carburizing, melibatkan dekomposisi gas karbon monoksida. Reaksi utama yang terjadi adalah:

$$2CO\ (g) \rightarrow C\ (s) + CO_2\ (g)$$

Selain itu, terdapat reaksi kesetimbangan lain yang mendukung proses pembentukan karbon aktif:

$$CO_2\ (g) + C\ (s) \rightarrow 2CO\ (g)$$

Karbon yang dihasilkan dari reaksi ini akan berdifusi ke dalam permukaan baja dan meningkatkan kandungan karbonnya (Callister & Rethwisch, 2014).

Selain gas carburizing, terdapat metode lain yaitu *pack carburizing*, yang merupakan teknik paling sederhana dan telah lama digunakan dalam industri. Dalam metode ini, benda kerja dikubur dalam media padat yang kaya karbon seperti arang kayu, kemudian dipanaskan dalam wadah tertutup. Metode ini tidak memerlukan kontrol atmosfer yang kompleks, sehingga

relatif murah dan mudah diterapkan (Totten, 2006). Pada pack carburizing, digunakan bahan tambahan berupa aktivator seperti barium karbonat ($BaCO_3$), Natrium Carbonat ($NaCO_3$), kalsium karbonat ($CaCO_3$). Aktivator ini berfungsi untuk mempercepat reaksi kimia yang menghasilkan gas karbon monoksida sebagai pembawa karbon aktif. Tanpa aktivator, proses difusi karbon akan berlangsung jauh lebih lambat (ASM International, 2013).

Reaksi kimia dalam pack carburizing diawali dengan dekomposisi aktivator, misalnya:

$$BaCO_3 \rightarrow BaO + CO_2$$

Gas CO_2 yang terbentuk kemudian bereaksi dengan karbon padat (arang) menghasilkan gas CO:

$$CO_2 + C \rightarrow 2CO$$

Selanjutnya, gas CO akan terurai di permukaan baja menghasilkan karbon aktif:

$$2CO \rightarrow C + CO_2$$

Siklus ini berlangsung terus menerus selama proses berlangsung (Totten, 2006).

Karbon aktif yang terbentuk di permukaan baja akan berdifusi masuk ke dalam material mengikuti gradien konsentrasi. Semakin tinggi temperatur dan semakin lama waktu penahanan, semakin dalam karbon akan masuk. Namun, kontrol terhadap parameter ini penting agar tidak terjadi distorsi atau perubahan dimensi yang berlebihan pada benda kerja (Callister & Rethwisch, 2014).

Keunggulan utama pack carburizing adalah kesederhanaannya. Proses ini tidak memerlukan peralatan canggih dan dapat dilakukan dengan biaya relatif rendah. Oleh karena itu, metode ini banyak digunakan pada industri kecil dan menengah. Selain itu, metode ini juga mampu menghasilkan lapisan keras yang cukup baik untuk berbagai aplikasi teknik (ASM International, 2013).

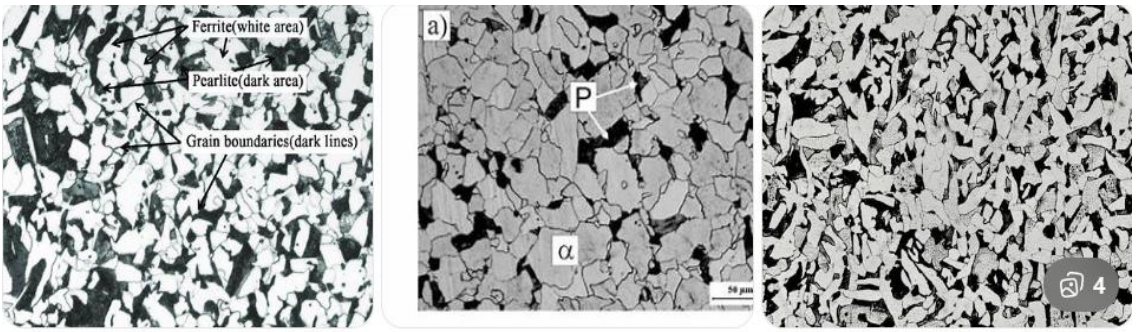
Namun demikian, pack carburizing memiliki beberapa keterbatasan. Kontrol terhadap komposisi atmosfer dan distribusi karbon tidak sebaik metode gas atau vakum carburizing. Akibatnya, hasil yang diperoleh bisa kurang seragam, terutama pada komponen dengan bentuk kompleks. Selain itu, waktu proses cenderung lebih lama dibandingkan metode modern (Totten, 2006).

Dalam aplikasinya, proses carburizing banyak digunakan pada komponen mesin seperti roda gigi, poros, dan camshaft yang membutuhkan kombinasi kekerasan permukaan dan ketangguhan inti. Dengan meningkatnya kekerasan permukaan, ketahanan terhadap keausan dan umur pakai komponen juga meningkat secara signifikan (ASM International, 2013).

Secara keseluruhan, baik carburizing maupun pack carburizing merupakan teknik penting dalam rekayasa material untuk meningkatkan performa baja. Meskipun teknologi modern telah berkembang, metode pack carburizing tetap relevan karena kemudahan dan efisiensinya dalam kondisi tertentu. Pemilihan metode yang tepat bergantung pada kebutuhan aplikasi, kompleksitas komponen, serta biaya produksi yang tersedia (Callister & Rethwisch, 2014).

Baja karbon rendah adalah jenis baja dengan kandungan karbon umumnya di bawah 0,25%, yang membuatnya memiliki sifat mekanik yang khas seperti keuletan tinggi, mudah dibentuk, dan kemampuan las yang sangat baik. Karena kandungan karbonnya rendah, baja ini memiliki kekerasan dan kekuatan yang relatif lebih rendah dibandingkan baja karbon

sedang atau tinggi, namun sangat unggul dalam proses manufaktur seperti penarikan, pembengkokan, dan pengepresan. Struktur mikro utamanya terdiri dari ferit dan sedikit perlit, yang berkontribusi terhadap sifat lunak dan ulet tersebut (Callister & Rethwisch, 2014). Berikut bentuk struktur mikro baja karbon rendah (ferit dan perlit):



Gambar 1. Struktur mikro Baja Karbon rendah (Callister & Rethwisch, 2014).

Pada gambar 1 Ferit (α) tampak sebagai daerah terang/putih dengan bentuk butir (grain) poligonal. Ferit merupakan fase yang lunak dan ulet dengan kandungan karbon sangat rendah (maksimum sekitar 0,02%) . Perlit (P) terlihat sebagai daerah gelap dengan struktur berlapis (lamellar), yang terdiri dari campuran ferit dan sementit (Fe_3C) . Secara umum, pada baja karbon rendah Struktur didominasi oleh ferit menyebabkan material lunak dan mudah dibentuk, struktur perlit dalam jumlah lebih sedikit yang memberikan kontribusi kekuatan. Kombinasi kedua fasa ini menghasilkan sifat mekanik yang seimbang, yaitu cukup kuat namun tetap ulet dan mudah dikerjakan.

Karakteristik lain dari baja karbon rendah adalah ketahanannya terhadap retak yang baik serta kemampuannya dalam menyerap energi sebelum patah. Hal ini menjadikannya cocok untuk aplikasi struktural seperti rangka bangunan, pipa, dan komponen otomotif. Selain itu, baja karbon rendah juga memiliki konduktivitas termal dan listrik yang cukup baik dibandingkan baja dengan kandungan karbon lebih tinggi. Namun, karena kekerasannya rendah, baja ini memiliki ketahanan aus yang kurang sehingga sering memerlukan perlakuan tambahan seperti carburizing untuk meningkatkan kekerasan permukaannya (Totten, 2006).

Meskipun memiliki banyak keunggulan, baja karbon rendah juga memiliki keterbatasan, terutama dalam hal kekuatan dan ketahanan terhadap deformasi plastis pada beban tinggi. Oleh karena itu, penggunaannya biasanya disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi yang tidak memerlukan kekuatan tinggi tetapi lebih mengutamakan keuletan dan kemudahan fabrikasi. Dengan kombinasi sifat tersebut, baja karbon rendah tetap menjadi salah satu material paling banyak digunakan dalam industri karena ekonomis dan serbaguna (ASM International, 2013).

Arang merupakan material karbon padat yang dihasilkan dari proses pirolisis bahan organik seperti kayu, tempurung kelapa, atau batu bara dalam kondisi minim oksigen. Dalam proses pack carburizing, arang berperan sebagai sumber utama karbon yang akan berdifusi ke permukaan baja. Karakteristik penting arang meliputi kandungan karbon tetap (fixed carbon), porositas, serta reaktivitas kimia. Arang dengan kandungan karbon tinggi dan

porositas besar cenderung lebih efektif karena mampu menghasilkan gas karbon monoksida (CO) dalam jumlah lebih banyak selama pemanasan, yang merupakan media pembawa karbon aktif (Totten, 2006).

Jenis arang yang digunakan sangat memengaruhi efisiensi proses carburizing. Arang kayu (wood charcoal) memiliki porositas tinggi dan reaktivitas yang baik, sehingga sering digunakan untuk proses tradisional. Sementara itu, arang tempurung kelapa (coconut shell charcoal) memiliki struktur lebih keras dan kandungan karbon lebih tinggi, sehingga mampu menghasilkan karbon aktif lebih stabil. Di sisi lain, kokas (coke) yang berasal dari batu bara memiliki densitas tinggi namun reaktivitasnya lebih rendah. Pemilihan jenis arang ini akan menentukan laju pembentukan gas CO melalui reaksi seperti:

$$CO_2+C \rightarrow 2CO$$

yang sangat penting dalam mekanisme difusi karbon ke permukaan baja (Callister & Rethwisch, 2014).

Selain jenisnya, ukuran partikel arang dan penambahan aktivator seperti $NaCO_3$, $CaCO_3$, $BaCO_3$ juga memengaruhi performa proses. Arang dengan ukuran partikel lebih kecil akan meningkatkan luas permukaan reaksi, sehingga mempercepat pembentukan gas CO. Aktivator membantu menghasilkan CO_2 yang kemudian bereaksi dengan karbon untuk membentuk CO secara kontinu. Dengan kombinasi karakteristik arang yang tepat, proses pack carburizing dapat menghasilkan lapisan keras yang merata dan memiliki ketahanan aus yang tinggi pada baja karbon rendah (ASM International, 2013).

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan melakukan pengujian kekerasan pada baja karbon rendah ST 37. Proses perlakuan panas dilakukan melalui metode *pack carburizing* menggunakan variasi arang, arang buah pinus, arang cemara, arang tempurung kelapa, dan arang tulang kerbau yang telah diayak dengan ukuran butir 30. Komposisi media karburasi yang digunakan yaitu 90% arang cemara ditambah 10% $NaCO_3$ sebagai energizer. Proses karburisasi dilakukan pada temperatur 800°C dengan waktu tahan selama 1 jam, kemudian spesimen didinginkan menggunakan media air. Selanjutnya, pengujian keausan dilakukan dengan metode abrasif pada beban 1 kg, putaran 190 rpm, dan waktu 60 detik untuk memperoleh data laju keausan. Data yang diperoleh dihitung untuk mengetahui besar korelasi jenis arang pada laju keausan.



Gambar 2. Jenis Arang (A) Tempurung Kelapa, (B) Arang Kayu Cemara, (C) Tulang Kerbau, (D) Arang Buah Pinus



Gambar 3. Alat uji keausan/Abrasive



Gambar 4. Dapur pemanas (*furnance*)



Gambar 5. Baja karbon rendah



Gambar 6. Natrium karbonat ($NaCO_3$)

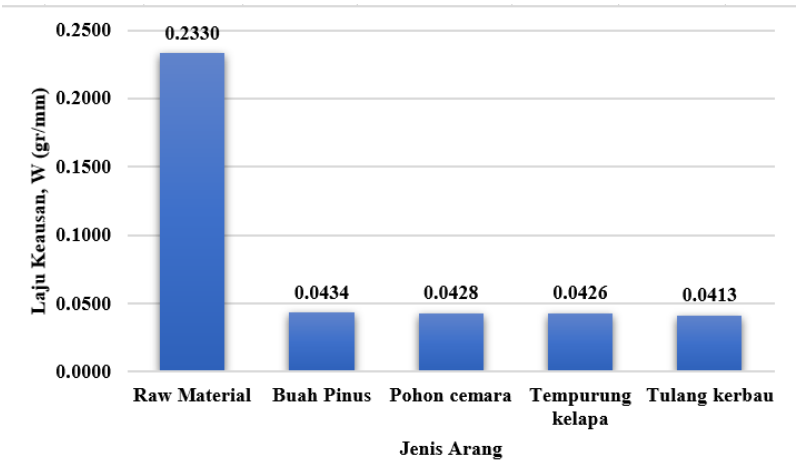
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan Hasil pengujian keausan pada material baja ST 37 yang telah mengalami heat treatment metode pack carburizing dengan sumber carbon dari arang yang bervariasi yakni arang buah pinus, arang pohon cemara, arang tempurung kelapa dan arang tulang kerbau, di tahan dalam tungku selama 1 jam pada temperatur 800°C kemudian didinginkan dengan media pendingin air dan digerus Selma 30 detik sehingga di peroleh data pengujian keausan seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Penelitian Pengujian Keausan Pada Penggerusan Selama 30 Detik Dengan Media Pendingin Air.

No	Jenis Arang	Sp	Wo (gram)	W1 (gram)	ΔW (gram)	Laju Keausan (gr/s)	Laju Rata-Rata Keausan (gr/s)
1	*Raw* Material	1	45.000	38.231	6.769	0.2256	**0.2330**
		2	45.000	37.785	7.215	0.2405	
		3	45.000	38.015	6.985	0.2328	
2	Buah Pinus	1	45.000	43.720	1.280	0.0427	**0.0434**
		2	45.000	43.690	1.310	0.0437	
		3	45.000	43.685	1.315	0.0438	
3	Pohon cemara	1	45.000	43.720	1.280	0.0427	**0.0428**
		2	45.000	43.740	1.260	0.0420	
		3	45.000	43.685	1.315	0.0438	
4	Tempurung kelapa	1	45.000	43.655	1.345	0.0448	**0.0426**
		2	45.000	43.765	1.235	0.0412	
		3	45.000	43.745	1.255	0.0418	
5	Tulang kerbau	1	45.000	43.755	1.245	0.0415	**0.0413**
		2	45.000	43.760	1.240	0.0413	
		3	45.000	43.765	1.235	0.0412	

Dari data hasil pengujian keausan pada tabel 1 maka didapatkan grafik perbandingan seperti gambar 7.



Gambar 7. Grafik Pengaruh Jenis Arang Terhadap Laju Keausan Proses Pack Carburizing Pada Penggerusan 30 Detik Dengan Media Pending Air.

Berdasarkan data pada grafik gambar 7 diperoleh pengaruh jenis arang terhadap laju keausan baja ST 37 melalui proses pack carburizing dimana menunjukkan perbandingan laju keausan (W) antara baja ST 37 tanpa perlakuan (raw material) dengan baja yang telah melalui proses pack carburizing menggunakan empat variasi media arang: buah pinus, pohon cemara, tempurung kelapa, dan tulang kerbau.

Nilai laju keausan tertinggi ditemukan pada raw material dengan angka 0,2330 gr/mm. Tingginya angka keausan ini menunjukkan bahwa baja ST 37 dalam kondisi awal memiliki ketahanan aus yang rendah karena kadar karbon permukaannya yang relatif rendah, sehingga material lebih mudah terdegradasi akibat gesekan (Smith & Hashemi, 2011). Kondisi ini menjadi titik acuan (baseline) untuk melihat seberapa besar peningkatan kualitas yang dihasilkan setelah proses karburisasi.

Setelah dilakukan proses pack carburizing, terlihat penurunan laju keausan yang sangat drastis pada seluruh variasi media arang, dengan nilai berkisar antara 0,0413 hingga 0,0434 gr/mm. Penurunan ini mengindikasikan keberhasilan proses difusi karbon ke dalam permukaan baja yang membentuk lapisan karbida keras. Menurut Totten (2006), pembentukan lapisan martensit yang keras setelah proses quenching secara efektif meningkatkan ketahanan material terhadap mekanisme keausan abrasi.

Di antara berbagai jenis media arang yang digunakan, tulang kerbau menunjukkan hasil terbaik dengan laju keausan terendah, yakni 0,0413 gr/mm. Tulang kerbau mengandung unsur organik dan mineral yang ketika diproses pada suhu 800°C dapat melepaskan karbon dalam konsentrasi yang cukup efektif untuk proses difusi. Efektivitas media ini dipengaruhi oleh komposisi kimia serta porositas arang yang memungkinkan gas karbon monoksida lebih optimal berinteraksi dengan permukaan baja.

Media tempurung kelapa memiliki laju keausan sebesar 0,0426 gr/mm, menempati urutan kedua sebagai media yang efektif setelah tulang kerbau. Tempurung kelapa dikenal sebagai bahan penghasil arang dengan kadar karbon tinggi dan struktur seluler yang baik, yang menjadikannya media carburizing yang populer dalam berbagai penelitian metalurgi. Stabilitas karbon yang dilepaskan selama proses holding selama 1 jam mampu menghasilkan lapisan permukaan yang cukup keras untuk menahan laju keausan.

Pada arang pohon cemara memberikan nilai laju keausan sebesar 0,0428 gr/mm, yang menunjukkan perbedaan yang sangat tipis dibandingkan dengan tempurung kelapa. Karakteristik kayu lunak seperti cemara memiliki laju pelepasan karbon yang cukup stabil dalam lingkungan tertutup. Meskipun perbedaannya kecil, data ini menunjukkan bahwa variasi jenis kayu sebagai media arang memang memberikan pengaruh yang berbeda terhadap konsentrasi difusi karbon ke dalam baja.

Sedangkan Arang buah pinus menghasilkan laju keausan sebesar 0,0434 gr/mm, yang menjadikannya media dengan laju keausan tertinggi di antara keempat jenis arang yang diuji, meskipun masih jauh lebih baik dibandingkan raw material. Perbedaan tipis antar keempat media arang tersebut menunjukkan bahwa meskipun sumber materialnya berbeda, suhu 800°C dengan waktu penahanan 1 jam sudah mampu menghasilkan case hardening yang cukup merata pada spesimen baja ST 37.

Secara keseluruhan, diperoleh bahwa penggunaan media arang dalam proses pack carburizing secara signifikan memperbaiki ketahanan aus baja ST 37. Penggunaan media

organik seperti tulang kerbau, tempurung kelapa, pohon cemara, dan buah pinus terbukti efektif sebagai agen pengeras permukaan. Pemilihan media arang yang tepat, dikombinasikan dengan kontrol suhu dan waktu yang presisi, merupakan faktor krusial dalam rekayasa permukaan material untuk aplikasi teknik yang memerlukan ketahanan aus tinggi.

Dari data pengujian laju keausan dapat dihitung korelasi atau seberapa besar pengaruh jenis arang terhadap laju keausan baja ST 37 yang mengalami proses pack carburizing pada temperatur 800°C yakni:

Koefisian korelasi yang terjadi:

$$r = \frac{n(\Sigma y)-(\Sigma x)(\Sigma y)}{\sqrt{[n\Sigma x^2-(\sum x)^2]\,[n\Sigma y^2-(\sum y)^2]}}$$

$$= \frac{5x0{,}00673-15x0{,}0251}{\sqrt{(5x55-(15)^2(5x0{,}00013485^2-(0{,}0251)^2)}}$$

$$= \frac{0{,}3365-0{,}3765}{\sqrt{(50)(0{,}00004424)}}$$

$$= \frac{-0{,}04}{\sqrt{0{,}002212}}$$

$$= \frac{-0{,}04}{0{,}04704}$$

$$r = -0{,}85$$

Dari nilai koefisien yang diperoleh yakni -0,85 dapat diketahui bahwa berkorelasi negatif terhadap laju keausan baja ST 37 pada proses pack carburizing temperatur 800°C. Sehingga dapat ditentukan koefisien determinasi atau koefisien penentunya yaitu:

$R = r^2 x 100\%$

$R = (-0{,}85)^2 \times 100\%$

$R = 0{,}7225 \times 100\%$

$R = 72{,}25\%$

Berdasarkan nilai determinasi maka diketahui bahwa jenis arang berpengaruh sebesar 72,25% terhadap laju keausan baja ST 37 pada proses pack carburizing

Nilai koefisien korelasi sebesar -0,85 menunjukkan adanya hubungan linear negatif yang kuat antara jenis arang yang digunakan dan laju keausan baja ST 37. Dalam konteks metalurgi, korelasi negatif ini mengindikasikan bahwa semakin efektif suatu jenis arang dalam melepaskan unsur karbon ke permukaan baja, maka semakin rendah nilai laju keausannya. Secara teoritis, proses pack carburizing pada suhu 800°C memungkinkan terjadinya difusi atom karbon dari media padat yang kaya karbon ke dalam kisi kristal baja, yang pada akhirnya mengubah komposisi kimia permukaan material menjadi lebih keras (Callister & Rethwisch, 2020). Besaran pengaruh sebesar 72,25% yang dihasilkan oleh jenis arang menunjukkan bahwa pemilihan media karburisasi memiliki kontribusi dominan dalam menentukan karakteristik mekanis permukaan baja. Sisa pengaruh sebesar 27,75% kemungkinan berasal dari variabel lain seperti durasi penahanan (holding time), laju pendinginan (quenching), serta komposisi kimia awal dari baja ST 37 itu sendiri. Menurut

Totten (2006), efisiensi difusi karbon sangat bergantung pada laju dekomposisi arang dan tekanan parsial gas karbon monoksida (CO) yang terbentuk di dalam kotak *pack carburizing*. Proses pack carburizing bekerja berdasarkan prinsip termodinamika di mana lingkungan atmosfer di dalam wadah tertutup harus dibuat kaya akan karbon. Pada suhu 800°C, reaksi oksidasi yang terbatas antara karbon dengan oksigen sisa di dalam wadah akan menghasilkan gas CO, yang kemudian bereaksi dengan permukaan baja (Smith & Hashemi, 2011). Reaksi ini, yang dikenal sebagai reaksi *Boudouard*, merupakan mekanisme krusial yang menentukan seberapa dalam karbon dapat meresap ke dalam baja. Perbedaan jenis arang, seperti tulang kerbau dibandingkan dengan buah pinus, secara signifikan mengubah kinetika difusi karbon karena perbedaan kandungan volatile matter dan porositas material. Media yang memiliki struktur seluler lebih terbuka cenderung melepaskan gas karbon lebih cepat dan lebih merata, sehingga memfasilitasi pembentukan lapisan martensit yang lebih tebal dan keras saat proses pendinginan air.

Menurut Davis (2002), struktur mikro hasil karburisasi yang optimal akan menciptakan gradien kekerasan yang curam dari permukaan ke inti baja.Nilai korelasi negatif yang kuat tersebut juga mencerminkan peran krusial dari quenching atau pendinginan cepat setelah proses holding. Ketika baja ST 37 yang telah jenuh dengan karbon pada suhu 800°C didinginkan secara drastis dalam air, atom karbon yang telah berdifusi akan terperangkap dalam struktur kisi besi, memaksa terjadinya transformasi fasa dari austenit menjadi martensit yang sangat keras (Krauss, 2015). Ketahanan aus material meningkat sebanding dengan meningkatnya fraksi martensit pada lapisan permukaan.Selain itu, pengaruh jenis arang sebesar 72,25% menegaskan bahwa karakteristik kimia media, seperti kandungan mineral dalam tulang kerbau (kalsium fosfat) atau struktur selulosa dalam tempurung kelapa, bertindak sebagai katalis atau penyedia karbon yang berbeda-beda. Unsur-unsur tambahan dalam arang organik dapat membantu mempercepat proses transfer karbon, sehingga lapisan case yang terbentuk lebih padat dan mampu menahan beban gesekan dengan lebih baik dibandingkan baja tanpa perlakuan (Budinski & Budinski, 2010). Jika laju keausan terus menurun seiring dengan pemilihan media yang lebih efektif, hal ini menandakan bahwa batas kelarutan karbon dalam fasa austenit telah tercapai dengan lebih optimal. Namun, perlu diketahui bahwa keberhasilan pack carburizing tidak hanya ditentukan oleh suplai karbon, tetapi juga oleh kemampuan media untuk tetap stabil pada suhu 800°C tanpa meninggalkan residu yang menghambat difusi (Askeland & Wright, 2015). Sehingga hubungan antara jenis arang dan laju keausan dalam proses pack carburizing baja ST 37 merupakan manifestasi dari rekayasa struktur mikro melalui difusi termokimia. Korelasi negatif -0,85 dan kontribusi pengaruh 72,25% membuktikan bahwa optimasi pemilihan media dapat meningkatkan daya tahan komponen mesin terhadap keausan.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang pengaruh variasi jenis arang dalam proses *pack carburizing* terhadap laju keausan baja ST 37, dapat disimpulkan hal-hal berikut: Jenis arang sangat berpengaruh terhadap keausan baja ST 37 setelah melalui proses *pack carburizing*. Arang tulang kerbau menghasilkan laju keausan paling rendah yaitu 0,0038 gr/s, sementara spesimen tanpa perlakuan menunjukkan laju keausan tertinggi sebesar 0,0076

gr/s. Hasil analisis korelasi menunjukkan hubungan negatif yang kuat antara jenis arang dan keausan dengan nilai r = -0,85. Artinya, semakin baik jenis arang yang digunakan, maka semakin kecil keausan yang terjadi. Oleh karena itu, arang tulang kerbau dapat direkomendasikan sebagai media karbon yang paling efektif dalam meningkatkan ketahanan aus baja ST 37.

DAFTAR PUSTAKA

Asm International. (2013). Sm Handbook, Volume 4: Heat Treating. Asm International.

Askeland, D. R., & Wright, W. J. (2015). The Science And Engineering Of Materials. Cengage Learning.

Bayu Fajar Setiawan Ddk. (2021). Penggunaan Karbon Arang Kayu Belian Dan Arang Kayu Akasia Pada Proses Karburasi Padat Baja Karbon Rendah. Injection: Indonesian Journal Of Vocational Mechanical Engineering, 1(1), 10–21.

Budinski, K. G., & Budinski, M. K. (2010). Engineering Materials: Properties And Selection. Prentice Hall

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2014). Materials Science And Engineering: An Introduction (9th Ed.). Wiley.

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). Materials Science And Engineering: An Introduction. Wiley

Colás, R., & Totten, G. E. (Eds.). (2016). Encyclopedia Of Iron, Steel, And Their Alloys (Online Version). Crc Press.

Davis, J. R. (2002). Surface Hardening Of Steels: Understanding The Basics. Asm International.

Hamzah And Iqbal. (2008). Peningkatan Ketahanan Aus Baja Karbon Rendah Dengan Metode Carburizing. 6(3).

Handoko, D. (2021). Pengaruh Variasi Jenis Katalisator Dan Holding Time Pada Proses Pack Carburizing Terhadap Perubahan Komposisi Karbon Dan Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah (Low Carbon Steel) St 37. 1.

Nitha, P. Sampelawang., Bontong, Y., Lembang, S. T., & Tandirerung, W. Y. (2006). Low Carbon Steel Wearing Properties Due To Pack Carburizing With Buffalo Bones Charcoal As Energizer.

Krauss, G. (2015). Steels: Processing, Structure, And Performance. Asm International.

Nitha, N. (2019). Pengaruh Pack Carburizing Arang Tulang Kerbau Mesh 30 Dan Temperatur 9500c Terhadap Keausan Baja Karbon Sedang. Mechanical Engineering Science (Mes), 1(1), 14-17.

Nitha, Arma, L. H., Sutresman, O. S. And Aminy, A. Y. 2023. Identifying Of Chemical Composition Changes During The Carburizing Process Of Carbon Steel Under Tension. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 124(12). Http://Dx.Doi.Org/10.15587/1729-4061.2023.286199

Rahma R. (2021). Pengertian Logam: Unsur-Unsur, Sifat, Klasifikasi, Dan Jenis-Jenisnya. Https://Www.Gramedia.Com/Literasi/Pengertian-Logam/

Risky Mulhakim Matondang. (2021). Pengaruh Annealing Baja St37 Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tarik.

Rizal Firdaus Ddk. (2020). Pengaruh Temperatur Karburasi Padat Terhadap Kekerasan Baja St37 Dengan Media Arang Batok Kelapa. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, 7(1), 23–31.

Smith, W. F., & Hashemi, J. (2011). Foundations Of Materials Science And Engineering. Mcgraw-Hill.

Suarsana, K. G. S. (2009). M3-019 Pengaruh Variasi Sumber Karbon Pada Proses Pack Carburizing Terhadap Distribusi Nilai Kekerasan Baja Krupp 1191.

Tommy Risky Perdana. (2021). Pengaruh Variasi Waktu Pack Carburizing Arang Tempurung Kelapa Terhadap Kekerasan Dan Komposisi Kimia Baja Karbon St37.

Totten, G. E. (2006). Steel Heat Treatment: Metallurgy And Technologies. Crc Pre

Utami, L. P., & Istana, B. (2020). Analisis Pengaruh Variasi Komposisi Katalis Pada Proses Pack Carburizing Baja Karbon Rendah Terhadap Nilai Kekerasan Dan Struktur Mikro. Jurnal Surya Teknika, 6(1), 26–31.

Wattimena Dan Jandri. (2014). Pengaruh Holding Time Dan Quenching Terhadap Kekerasan Baja Karbon St 37 Pada Proses Pack Carburizing Menggunakan Arang Batok Biji Pala (Myristica Fagrans).

Wili Alfani, 2016. (N.D.). Pengaruh Variasi Temperatur Pada Proses Pack Caarburizing Terhadap Ketahanan Aus Baja St 41.

Yosyi Mustafa Rachman Ddk. (2020). Pengaruh Proses Harderning Baja Aisi 1045 Terhadap Sifat Keausan. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, 8(2), 89–95.