

STUDI PERBANDINGAN SIFAT MEKANIK BAJA ABRASIVE RESISTANT CAST  
STEEL (ARCS) DAN SCMNH11 UNTUK APLIKASI HAMMER LIMESTONE  
CRUSHER

**(COMPARATIVE STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES OF ABRASIVE  
RESISTANT CAST STEEL (ARCS) AND SCMnH11 FOR HAMMER LIMESTONE  
CRUSHER APPLICATION)**

**Franciskus Edy P<sup>(1)</sup>, Nudito Rifqi H<sup>(1)</sup> & Anggoro Harry S<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup>Departemen Penelitian dan Pengembangan, PT Semen Indonesia (Persero) Tbk

Email: [franciskus.edy@sig.id](mailto:franciskus.edy@sig.id)

Diterima: 4 November 2025. Disetujui: 7 Mei 2026. Dipublikasikan: 31 Mei 2026

**ABSTRAK**

Penelitian ini membandingkan dua material, yaitu Abrasive Resistant Cast Steel (ARCS), jenis baja cor tahan abrasi yang dirancang untuk aplikasi di lingkungan industri yang menghadapi kondisi abrasif berat dan SCMnH11, jenis baja mangan tinggi yang sering digunakan pada aplikasi hammer penghancur batu kapur di industri semen. Fokus penelitian ini adalah menganalisis sifat mekanik seperti kekuatan tarik, kekuatan luluh, kekerasan, serta komposisi kimia dan struktur mikro dari kedua material tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ARCS lebih unggul dibandingkan SCMnH11 dalam hal kekuatan tarik dan kekuatan luluh, dengan nilai masing-masing mencapai 923 N/mm<sup>2</sup> dan 756 N/mm<sup>2</sup>, sementara SCMnH11 memiliki nilai elongasi yang lebih tinggi (25%) dibandingkan ARCS (9,5%). Dalam hal kekerasan, SCMnH11 lebih keras (30 HRC) dibandingkan ARCS (25,6 HRC). Analisis kimia juga menunjukkan bahwa SCMnH11 memiliki kandungan mangan yang lebih tinggi (9,08%) dibandingkan ARCS (1,32%), yang berkontribusi pada ketangguhannya. Sebaliknya, ARCS mengandung kromium yang lebih tinggi (2,25%), sehingga meningkatkan ketahanan ausnya. Analisis mikrostruktural mengungkapkan bahwa ARCS memiliki kombinasi bainit dan ferit, memberikan kekuatan dan kekerasan, sedangkan struktur austenitik pada SCMnH11 memungkinkannya untuk menyerap benturan dengan lebih baik tanpa kerusakan.

Kata Kunci: Abrasive Resistant Cast Steel, Hammer Limestone Crusher, SCMnH11, Sifat Mekanik

**ABSTRACT**

*This study compares two materials, namely Abrasive Resistant Cast Steel (ARCS), a type of abrasion-resistant cast steel designed for industrial applications exposed to severe abrasive conditions, and SCMnH11, a high-manganese steel commonly used for hammer applications in limestone crushers within the cement industry. The research focuses on analyzing mechanical properties such as tensile strength, yield strength, hardness, as well as the chemical composition and microstructure of both materials. The results show that ARCS exhibits superior tensile and yield strength compared to SCMnH11, with respective values of 923 N/mm<sup>2</sup> and 756 N/mm<sup>2</sup>, while SCMnH11 demonstrates higher elongation (25%) compared to ARCS (9.5%). In terms of hardness, SCMnH11 is harder (30 HRC) than ARCS (25.6 HRC). Chemical analysis indicates that SCMnH11 has a higher manganese content (9.08%) than*

*ARCS (1.32%), contributing to its toughness, whereas ARCS contains more chromium (2.25%), enhancing its wear resistance. Microstructural analysis reveals that ARCS consists of a combination of bainite and ferrite, providing strength and hardness, while the austenitic structure of SCMnH11 enables it to absorb impact more effectively without damage.*

*Keywords: Abrasive Resistant Cast Steel, Hammer Limestone Crusher, SCMnH11, Mechanical Properties*

## PENDAHULUAN

Industri semen memiliki peran vital dalam pembangunan infrastruktur modern. Semen adalah bahan dasar untuk pembuatan beton dan material bangunan lainnya yang penting, yang tidak hanya mendukung kegiatan konstruksi tetapi juga berkontribusi besar dalam menciptakan lapangan pekerjaan dan pertumbuhan ekonomi regional [1]. Proses produksinya melibatkan beberapa tahap, mulai dari ekstraksi bahan mentah, pengolahan, hingga pengiriman produk akhir. Salah satu tahap yang sangat penting adalah penghancuran batu kapur menjadi ukuran yang lebih kecil dan mudah dikelola. Kinerja proses penghancuran ini sangat bergantung pada teknologi yang digunakan, serta kualitas material pada komponen penghancur itu sendiri. Oleh karena itu, pemilihan bahan yang tepat, terutama untuk komponen penting seperti hammer crusher, sangatlah krusial.

Memilih material yang tepat untuk hammer crusher sangatlah krusial. Komponen ini harus mampu bertahan dalam kondisi penghancuran yang ekstrem, dan kinerjanya sangat dipengaruhi oleh kekerasan material, yang menentukan ketahanannya terhadap keausan. Penelitian menunjukkan bahwa perawatan permukaan, seperti hardfacing, dapat secara signifikan meningkatkan ketahanan aus

material hammer. Sebagai contoh, baja ringan yang dilapisi hardfacing dapat meningkatkan ketahanan aus hingga 5,7 kali lipat dibandingkan dengan baja tahan abrasi standar [2]. Selain kekerasan, keuletan, kemampuan material untuk menyerap benturan tanpa patah juga sangat penting. Penelitian lain menyatakan bahwa pengerasan permukaan dapat meningkatkan kekerasan baja tanpa mengurangi keuletannya, sehingga meningkatkan ketahanan aus [3]. Sebaliknya, material dengan keuletan rendah lebih rentan terhadap kegagalan besar pada kondisi operasional yang berat.

Faktor kunci lainnya adalah desain hammer itu sendiri. Geometri dan konfigurasi hammer secara langsung mempengaruhi kinerja dan pola keausannya. Desain tertentu dapat meningkatkan dinamika dalam ruang gerinda, sehingga meningkatkan efisiensi [4]. Oleh karena itu, eksperimen dengan konfigurasi hammer yang berbeda sangat penting untuk mengoptimalkan kinerjanya sesuai dengan aplikasi yang dibutuhkan.

Jenis material abrasif yang digunakan juga berperan penting dalam ketahanan aus. Penelitian menunjukkan bahwa ukuran dan komposisi partikel abrasif merupakan faktor kunci dalam menilai kinerja keausan material hammer [5]. Partikel yang lebih besar dan lebih agresif menyebabkan

tingkat kehilangan material yang lebih tinggi, sehingga pemilihan material hammer dengan sifat yang optimal untuk kondisi operasional yang diharapkan menjadi sangat penting. Perlakuan panas juga merupakan faktor penting lainnya untuk memperpanjang umur hammer. Dengan mengubah struktur mikro material, perlakuan panas dapat meningkatkan ketahanan terhadap abrasi dan kelelahan [6]. Proses ini membantu memastikan komponen hammer dapat berfungsi dengan baik dalam lingkungan operasional yang ekstrem.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi gap dalam literatur dengan membandingkan dua jenis bahan yang sering digunakan dalam hammer crusher batu kapur, yaitu ARCS dan SCMnH11. Fokus utama penelitian ini adalah untuk mengevaluasi sifat mekanik kedua bahan tersebut, seperti kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan kekerasan, serta bagaimana sifat-sifat ini mempengaruhi kinerjanya dalam proses penghancuran batu kapur.

#### **METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian ini mengadopsi pendekatan kuantitatif dengan desain eksperimen komparatif untuk membandingkan sifat mekanik dua jenis material, yakni ARCS dan SCMnH11, yang digunakan sebagai komponen hammer pada alat penghancur batu kapur di industri semen. Sampel uji berupa spesimen batang persegi panjang diambil dari komponen hammer yang sudah digunakan dalam aplikasi lapangan dan kemudian diproses ulang untuk pengujian laboratorium. Setiap material, ARCS dan SCMnH11, diwakili oleh dua spesimen

yang diberi label Sampel A dan Sampel B, yang telah dianalisis secara kimiawi dan mekanis. Instrumen yang digunakan dalam pengumpulan data meliputi Optical Emission Spectroscopy (OES) untuk analisis komposisi kimia, Universal Testing Machine (UTM) untuk pengujian kekuatan tarik dan kekuatan luluh, serta Rockwell Hardness Tester untuk pengujian kekerasan dengan skala HRC.

Prosedur pengujian dilakukan berdasarkan standar ASTM sebagai berikut: analisis komposisi kimia mengacu pada ASTM E415 untuk analisis logam besi menggunakan OES; uji kekuatan tarik dan luluh dilaksanakan sesuai dengan ASTM E8/E8M, menggunakan spesimen standar dengan rasio panjang-dan-diameter yang ditentukan; pengujian kekerasan mengikuti ASTM E18 untuk Uji Kekerasan Rockwell pada skala C. Pengamatan mikrostruktur dilakukan dengan mikroskop optik setelah proses persiapan sampel, yang meliputi pemasangan, penggerindaan, pemolesan, dan etsa dengan larutan nital 2% sesuai dengan prosedur metalografi yang umum. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif dan komparatif, dengan penekanan pada perbedaan signifikan antara kedua material dalam hal komposisi kimia, kekuatan tarik, kekuatan luluh, kekerasan, dan tampilan mikrostruktur. Metode ini memungkinkan peneliti lain untuk mereplikasi penelitian sepenuhnya menggunakan peralatan yang sama, parameter pengujian yang identik, dan prosedur sesuai dengan standar ASTM yang telah disebutkan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan dua jenis material, yaitu SCMnH11 dan ARCS, berdasarkan komposisi kimia, sifat mekanik, dan struktur mikronya. Dua sampel, yakni Sampel A dan Sampel B, diuji, dan hasilnya disajikan di bawah ini tanpa adanya interpretasi. Komposisi kimia sampel dianalisis untuk mengidentifikasi kandungan unsur-unsur utama, yang sangat mempengaruhi sifat mekanik dan karakteristik mikrostrukturalnya. Berikut adalah hasil analisis komposisi kimia untuk SCMnH11 dan ARCS pada Sampel A dan B:

**Tabel 1.** Komposisi kimia sampel A

<i>Unsur Kimia</i>	<i>SCMnH11 (%)</i>	<i>ARCS (%)</i>
C	0.81	0.38
Si	0.38	0.48
Mn	9.08	1.32
P	0.08	0.032
S	0.01	0.01
Cr	2.25	1.27
Ni	0.34	0.514
Mo	0.01	0.26

Pada Sampel A, komposisi kimia SCMnH11 menunjukkan kandungan karbon (C) sebesar 0,81%, silikon (Si) 0,38%, dan mangan (Mn) 9,08%, yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan ARCS yang hanya mengandung mangan sebesar 1,32%. Kedua sampel memiliki kandungan sulfur (S) dan fosfor (P) yang hampir sama, namun ARCS mengandung kromium (Cr) dan nikel (Ni) dalam jumlah yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan SCMnH11.

**Tabel 2.** Komposisi kimia sampel B

<i>Unsur Kimia</i>	<i>SCMnH11 (%)</i>	<i>ARCS (%)</i>
C	0.76	0.38
Si	0.37	0.48
Mn	8.97	1.36
P	0.07	0.032
S	0.01	0.01
Cr	2.18	1.30
Ni	0.32	0.514
Mo	0.01	0.25

Pada Sampel B, komposisi SCMnH11 dan ARCS menunjukkan pola yang serupa. Kandungan karbon SCMnH11 adalah 0,76%, sementara ARCS memiliki kandungan karbon sebesar 0,38%. SCMnH11 memiliki kandungan silikon sedikit lebih rendah (0,37%) dibandingkan dengan ARCS yang mengandung 0,48% silikon. Kandungan mangan pada SCMnH11 lebih tinggi (8,97%) dibandingkan dengan ARCS yang hanya memiliki 1,36% mangan. Kandungan kromium lebih dominan pada SCMnH11, sedangkan nikel sedikit lebih tinggi pada ARCS. Sifat mekanik kedua sampel, termasuk kekuatan tarik, kekuatan luluh, kekerasan, dan perpanjangan, dievaluasi karena sifat-sifat ini penting untuk memahami kinerja material di bawah tekanan dan daya tahan keseluruhannya.

**Tabel 3.** Sifat mekanis sampel A

<i>Parameter</i>	<i>SCMnH11</i>	<i>ARCS</i>
<i>Mekanik</i>		
Kekuatan Tarik (N/mm <sup>2</sup> )	880	923
Kekuatan Luluh (N/mm <sup>2</sup> )	550	756
Kekerasan (HRC)	30	25.6
Perpanjangan (%)	25	9,5

Untuk Sampel A, kekuatan tarik SCMnH11 adalah 880 N/mm<sup>2</sup>, yang sedikit lebih rendah daripada kekuatan tarik ARCS, yang berukuran 923 N/mm<sup>2</sup>. Kekuatan luluh ARCS secara signifikan lebih tinggi, yaitu 756 N/mm<sup>2</sup>, dibandingkan dengan 550 N/mm<sup>2</sup> untuk SCMnH11. Dalam hal kekerasan, SCMnH11 memiliki nilai yang lebih tinggi yaitu 30 HRC, sedangkan ARCS lebih lunak pada 25,6 HRC. Perpanjangan SCMnH11 juga lebih tinggi yaitu 25%, menunjukkan keuletan yang lebih besar dibandingkan dengan ARCS, yang memiliki perpanjangan hanya 9,5%.

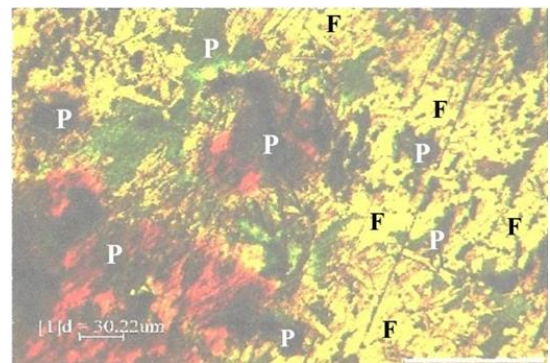
**Tabel 4.** Sifat mekanis sampel B

<i>Parameter</i>	<i>SCMnH11</i>	<i>ARCS</i>
<i>Mekanik</i>		
Kekuatan Tarik (N/mm <sup>2</sup> )	740	910
Kekuatan Luluh (N/mm <sup>2</sup> )	390	749
Kekerasan (HRC)	33	26,8
Perpanjangan (%)	20	6,5

Pada Sampel B, kekuatan tarik SCMnH11 adalah 740 N/mm<sup>2</sup>, sedangkan ARCS memiliki kekuatan tarik 910 N/mm<sup>2</sup>. Kekuatan luluh untuk ARCS sekali lagi lebih tinggi yaitu 749 N/mm<sup>2</sup> dibandingkan dengan 390 N/mm<sup>2</sup> SCMnH11. Dalam hal kekerasan, SCMnH11 mencapai nilai yang lebih tinggi yaitu 33 HRC, sedangkan ARCS memiliki kekerasan 26,8 HRC. Perpanjangan kembali lebih tinggi pada SCMnH11, dengan 20%, sedangkan ARCS hanya memiliki perpanjangan 6,5%.

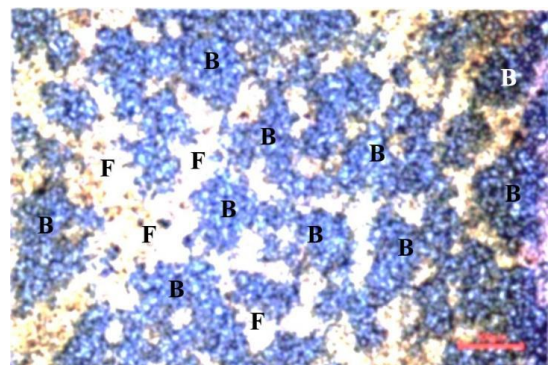
Struktur mikro SCMnH11 dan ARCS dianalisis untuk memeriksa distribusi fasa di dalam material. Struktur mikro

memainkan peran penting dalam sifat mekanik material dan kemampuannya untuk menahan stres dan keausan. Dalam struktur mikro SCMnH11, terdapat kombinasi ferit (F) dan perlit (P). Untuk ARCS, struktur mikro mengandung bainit (B) dan ferit (F).



*P = Perlit; F = Ferit*

**Gambar 1.** Struktur Mikro ScMnH11 Menunjukkan Campuran Ferit dan Perlit



*B = Bainit; F = Ferit*

**Gambar 1.** Struktur Mikro ARCS yang Mengandung Bainit & Ferit

Penelitian ini menganalisis kinerja Abrasive Resistant Cast Steel (ARCS) dan SCMnH11 dalam aplikasi hammer crusher, khususnya di industri semen. Komposisi kimia, struktur mikro, dan sifat mekanik material memainkan peran penting dalam menentukan kecocokannya untuk digunakan dalam kondisi operasional yang ekstrem. Temuan ini menekankan peran penting karbon dan mangan dalam

mempengaruhi kekerasan, ketangguhan, dan ketahanan aus kedua material tersebut. SCMnH11 menonjol dengan kandungan karbon yang lebih tinggi dibandingkan dengan ARCS, yaitu 0,81% dan 0,76%, sedangkan ARCS hanya mengandung 0,38% karbon.

Kandungan karbon yang lebih tinggi pada SCMnH11 berkontribusi pada peningkatan kekerasan dan ketahanan ausnya, karena mendukung pembentukan martensit dan perlit, yang sangat penting untuk meningkatkan ketahanan abrasi. Namun, peningkatan karbon ini juga mengurangi ketangguhan material, yang terlihat pada persentase perpanjangan yang lebih tinggi pada SCMnH11 (25%) dibandingkan dengan ARCS (9,5%) pada Sampel A. Ini menunjukkan adanya kompromi antara kekerasan dan ketangguhan pada SCMnH11, menjadikan ARCS pilihan yang lebih seimbang untuk aplikasi yang memerlukan kedua sifat tersebut [7].

Meskipun SCMnH11 memiliki struktur mikro yang didominasi oleh ferit dan perlit, kandungan mangan yang tinggi (8,97% hingga 9,08%) tetap berperan penting dalam meningkatkan ketangguhan material. Mangan membantu memperkuat fase ferit dan menstabilkan austenit, meskipun austenit bukanlah fase utama dalam struktur mikro ini. Hal ini memberikan fleksibilitas pada SCMnH11, memungkinkan material untuk menyerap benturan berulang dan beban siklik tanpa retak [8]. Sebaliknya, ARCS, dengan kandungan mangan yang lebih rendah (1,32% hingga 1,36%), lebih unggul dalam aplikasi di mana keausan

abrasif menjadi fokus utama, karena kekerasannya yang lebih tinggi dan ketahanan yang lebih baik terhadap deformasi plastis di bawah tekanan abrasif yang intens.

Kromium memainkan peran penting dalam ARCS, berkontribusi terhadap ketahanan aus dengan membentuk karbida keras yang mengurangi kerusakan material akibat abrasi, terutama pada kondisi beban tinggi dan keausan ekstrem. Kandungan kromium yang lebih tinggi pada ARCS (2,25% pada Sampel A) merupakan faktor kunci dalam meningkatkan daya tahannya, menjadikannya ideal untuk aplikasi seperti industri pertambangan dan semen, di mana peralatan beroperasi dalam kondisi yang sangat keras [9]. Sebaliknya, SCMnH11 memiliki kandungan kromium yang lebih rendah (1,32% hingga 1,36%) dan meskipun kurang optimal untuk kondisi dengan tingkat abrasi tinggi, ketangguhannya yang superior menjadikannya lebih cocok untuk lingkungan yang sering menghadapi benturan berulang dan beban dinamis [8].

Meskipun nikel terdapat pada kedua material, kandungan nikel dalam ARCS meningkatkan ketangguhannya, memberikan perlindungan ekstra terhadap guncangan dan beban dinamis. Nikel membantu menstabilkan fase austenitik, memungkinkan ARCS untuk menahan deformasi plastis dan meningkatkan ketangguhan pada suhu rendah [10]. Sementara itu, SCMnH11, dengan kandungan nikel yang lebih rendah, tetap mendapatkan keuntungan dari kandungan mangan yang ada, yang menawarkan

fleksibilitas dan ketahanan yang sangat baik terhadap beban dinamis berulang. Meskipun SCMnH11 tidak sekuat ARCS dalam hal ketahanan terhadap guncangan, sifat pengerasan kerjanya memberikan peningkatan kekuatan secara bertahap dalam kondisi yang tidak terlalu abrasif [7][8].

Struktur mikro ARCS, yang terutama terdiri dari bainit dan ferit, memberikan ketahanan dan kekuatan aus yang sangat baik, menjadikannya ideal untuk aplikasi yang menghadapi keausan abrasif. Bainit, yang memiliki struktur mirip jarum halus, memberikan ketahanan aus yang luar biasa, mengurangi keausan material di bawah beban tinggi dan meningkatkan ketangguhan, sehingga mencegah keretakan material di bawah pembebanan dinamis [9]. Kehadiran ferit memastikan ketangguhan material, memungkinkan ARCS untuk menahan guncangan dan pembebanan berulang.

Sifat mekanik ARCS dan SCMnH11 menunjukkan perbedaan yang mencolok. ARCS memiliki kekerasan yang lebih tinggi, yakni antara 30-35 HRC, yang memberikannya keunggulan dalam ketahanan terhadap abrasi pada kondisi beban tinggi, sehingga sangat cocok untuk digunakan di lingkungan dengan tingkat abrasi dan beban yang berat [11]. Sebaliknya, SCMnH11 memiliki kekerasan yang lebih rendah (25-30 HRC), tetapi kemampuannya untuk menyerap benturan membuatnya lebih sesuai untuk aplikasi di mana ketangguhan lebih diutamakan daripada kekerasan, seperti pada aplikasi yang menghadapi benturan dan guncangan.

ARCS juga menunjukkan kekuatan tarik yang lebih tinggi, yakni antara 900-1000 MPa, jika dibandingkan dengan SCMnH11 yang memiliki kekuatan tarik sekitar 700-800 MPa, sehingga lebih mampu menahan beban statis dan tekanan mekanis yang tinggi, yang sangat penting dalam aplikasi berat seperti pertambangan dan produksi semen [9]. Meskipun SCMnH11 memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah, baja ini unggul dalam ketangguhan benturan dan mampu menyerap beban dinamis yang lebih besar tanpa mengalami kegagalan material yang signifikan, seperti yang terlihat dalam kinerjanya yang sangat baik pada kondisi benturan berulang [8].

Pemilihan antara ARCS dan SCMnH11 sangat bergantung pada jenis aplikasi yang dibutuhkan. ARCS lebih tepat digunakan dalam kondisi dengan tingkat abrasi tinggi yang memerlukan ketahanan aus dan kekuatan yang besar, seperti pada industri pertambangan dan produksi semen. Dengan kemampuannya untuk menahan keausan abrasif serta beban berat, ARCS menjadi pilihan unggul untuk aplikasi tugas berat. Di sisi lain, SCMnH11 lebih sesuai untuk aplikasi yang melibatkan beban dinamis, tekanan siklik, atau benturan berulang, seperti yang ditemukan dalam industri yang mengolah material rapuh. Ketangguhan luar biasa dan sifat pengerasan kerja pada SCMnH11 menjadikannya lebih cocok untuk lingkungan dinamis, dimana fleksibilitas dan kemampuan untuk menyerap benturan menjadi prioritas utama [8].

Studi ini menekankan pentingnya pemilihan material yang sesuai dengan

kondisi operasional yang dihadapi dalam aplikasi crusher hammer. Beban siklik, yang merujuk pada perubahan dan pengulangan beban seiring waktu, terjadi ketika hammer terus-menerus menghantam batu kapur dengan gaya yang bervariasi. ARCS, yang memiliki kekerasan dan ketahanan aus lebih tinggi, lebih cocok untuk aplikasi yang melibatkan keausan abrasif dan beban tinggi, karena material ini dapat menahan gesekan intens antara hammer dan batu kapur. Namun, ARCS kurang fleksibel dalam menangani benturan berulang.

Di sisi lain, SCMnH11, yang unggul dalam ketangguhan dan ketahanan terhadap benturan berulang serta beban siklik, lebih cocok digunakan pada aplikasi yang sering mengalami perubahan beban. Walaupun SCMnH11 memiliki ketahanan benturan yang lebih baik, material ini dapat lebih cepat aus dibandingkan ARCS jika terpapar kondisi operasional dengan gesekan abrasif tinggi. Oleh karena itu, pemilihan antara kedua material ini harus disesuaikan dengan prioritas utama aplikasi, apakah lebih mengutamakan ketahanan terhadap keausan atau ketahanan terhadap benturan berulang di bawah beban siklik.

Meskipun penelitian ini fokus pada perbandingan sifat mekanik ARCS dan SCMnH11, penting untuk mempertimbangkan aspek keberlanjutan. Sebagai contoh, ARCS, yang lebih tahan lama dan dapat didaur ulang dengan lebih efisien, dapat mengurangi jejak karbon dalam jangka panjang. Proses daur ulang baja seperti ARCS mengurangi emisi CO<sub>2</sub> dibandingkan dengan produksi baja baru,

yang mengarah pada penghematan energi dan penurunan konsumsi sumber daya. Selain itu, pilihan material yang lebih tahan lama mengurangi frekuensi penggantian komponen, yang juga berkontribusi pada efisiensi energi dan pengurangan limbah.

## KESIMPULAN

Studi ini memberikan wawasan yang komprehensif tentang pemilihan material untuk aplikasi crusher hammer. ARCS, dengan kandungan kromium dan karbon yang lebih tinggi, lebih cocok untuk aplikasi yang menghadapi keausan abrasif yang tinggi, sedangkan SCMnH11, dengan kandungan mangan yang lebih tinggi, unggul dalam hal ketangguhan dan ketahanan terhadap benturan berulang. Pemilihan material tergantung pada kondisi operasional yang dihadapi oleh crusher, yang akan memengaruhi biaya perawatan dan keandalan peralatan dalam jangka panjang.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Pacana, D. Siwiec, L. Bednárová, M. Šofranko, O. Végsöová, & M. Cvoliga, "Influence of Natural Aggregate Crushing Process on Crushing Strength Index," *Sustainability*, vol. 13, no. 15, p. 8353, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/su13158353>.
- [2] A. N. S. Appiah, O. Bialas, A. Czupryński, & M. Adamiak, "Powder Plasma Transferred Arc Welding of Ni-Si-B+60 Wt%WC and Ni-Cr-Si-B+45 Wt%WC for Surface Cladding of Structural Steel," *Materials*, vol. 15, no. 14, p. 4956, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/ma15144956>
- [3] M. A. Ampomah, J. O. Akowuah, J. Aveyire, E. K. Arthur, C. R. Stark, I. N. Amanor, & D. A. Wandusim, "Effects of Surface Hardening on Hardness and Tensile Strength of Locally Manufactured Feed Mill Hammers,"

- Journal of the Ghana Institution of Engineering (Jghie)*, vol. 23, no. 4, pp. 35–41, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.56049/jghie.v23i4.102>
- [4] S. Bulatov, N. N. Pushkarenko, P. Savinyh, A. G. Sergeev, & A. Marczuk, "Effect of the Height of Grain Layer in the Feed Hopper on Pressure Created by Hammers in the Grinding Chamber," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1112, no. 1, p. 012036, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1112/1/012036>
- [5] M. Szala, M. Szafran, J. Matijošius, & K. Drozd, "Abrasive Wear Mechanisms of S235JR, S355J2, C45, AISI 304, and Hardox 500 Steels Tested Using Garnet, Corundum and Carborundum Abrasives," *Advances in Science and Technology – Research Journal*, vol. 17, no. 2, pp. 147–160, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.12913/22998624/161277>
- [6] X. Zhang, H. Jing, Y. Yang, Z. Zhong, X. Li, & Y. Liu, "The Microhardness, Morphology and Tribological Property of TC4 Subjected to Machine Hammer Peening," *Surface Topography: Metrology and Properties*, vol. 12, no. 3, p. 35040, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1088/2051-672x/ad71e3>
- [7] G. Tęcza, "Changes in Abrasive Wear Resistance During Miller Test of High-Manganese Cast Steel With Niobium Carbides Formed in the Alloy Matrix," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 11, p. 4794, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/app11114794>
- [8] L. Zhou & W. Sun, "Mechanical Property of New Cast High Manganese Steel and Its Application," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2566, no. 1, p. 012014, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2566/1/012014>
- [9] D. Medyński, "Effect of Corrosion on Wear Resistance of the Composite Based on GX120Mn13 Cast Steel Zonally Reinforced With Particles (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ZrO<sub>2</sub>)," *Archives of Foundry Engineering*, pp. 133–139, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.24425/afe.2023.146675>
- [10] Y. K. Park, H. J. Nam, Y. H. Park, & W. Lee, "Laser Rescanning for Enhancing Mechanical Properties of Laser-Directed Energy-Deposited High-Manganese Steels," *Micromachines*, vol. 15, no. 2, p. 176, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/mi15020176>
- [11] D. Medyński & J. Chęćmanowski, "Corrosion Resistance of L120G13 Steel Castings Zone-Reinforced With Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>," *Materials*, vol. 15, no. 12, p. 4090, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/ma15124090>