

PENGARUH PERLAKUAN PANAS KARBURISASI AUSTEMPER PADA BAJA LATERIT PADUAN Cr-Mo TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO

THE EFFECT OF HEAT TREATMENT OF AUSTEMPER CARBURIZATION ON LATERITE STEEL Cr-Mo ALLOY ON THE MECHANICAL PROPERTIES AND MICRO STRUCTURES

Satrio Herbirowo*¹, Vinda Puspasari¹, M Iqbal Primatama², Hendrik¹, I Nyoman Gede Putrayasa Astawa¹, Bintang Adjiantoro¹, Andika W Pramono¹

¹Pusat Penelitian Metalurgi dan Material, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Kawasan Puspiptek Gd. 470, Muncul, Setu, Tangerang Selatan

²Jurusan S1 Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknik-PLN
Jl. Lkr. Luar Barat, Cengkareng, Jakarta Barat

Diterima: 24 Maret 2020

Direvisi: 12 Mei 2020

Disetujui: 15 Juni 2020

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan proses perlakuan panas karburisasi *austemper* dan mempelajari pengaruh media pendinginan terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja laterit paduan Cr-Mo. Perlakuan panas yang dilakukan yaitu pemanasan sampel pada temperatur austenisasi (950° C) selama 1 jam dan proses karburisasi *austemper* dengan media serbuk arang halus pada temperatur 400° C selama 1 jam. Variasi pendinginan yang digunakan yaitu *air blowing* (semburan udara) selama 1 jam, air dan tungku selama 24 jam. Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *Rockwell Hardness* dan pengujian impak dilakukan dengan metode *charpy*. Karakterisasi struktur mikro dilakukan dengan proses metalografi dan mikroskop optik. Karakterisasi permukaan patahan pengujian impak dilakukan dengan SEM-EDX. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai kekerasan tertinggi yaitu 65,48 HRC terjadi pada sampel dengan *air blowing* selama 1 jam. Struktur mikro sampel tersebut menunjukkan adanya fasa ferit, perlit dan martensit yang membuat sampel menjadi keras. Nilai kekuatan impak tertinggi sebesar 20 Joule terjadi pada sampel dengan pendinginan di dalam tungku selama 24 jam. Karakterisasi permukaan patahannya menggunakan SEM-EDX menunjukkan adanya *dimple* dari patah ulet.

Kata kunci: baja laterit, *austemper*, *dimple*, sifat mekanik dan struktur mikro

ABSTRACT

This research was aimed to do heat treatment of austemper carburization and investigate the effect of various cooling media on mechanical properties and microstructure of Cr-Mo alloy lateritic steel. Heat treatment was conducted to austenisation temperature at 950° C for 1 hour and austemper carburization at 400° C for 1 hour. Variation of cooling media included air blowing for 1 hour, water, and furnace cooling for 24 hours. Hardness and impact test were done using Hardness Rockwell and Charpy methods. Microstructure was observed using optical microscope. Fracture surface characterization was using SEM-EDX. The results showed the highest hardness of 65.48 HRC in sample that cooled by air blowing for 1 hour. The microstructure of this sample showed phases of ferrite, pearlite and martensite which causing higher hardness. The highest impact strength of 20 Joule took place in the furnace cooled sample. Characterization of the fracture surface using SEM-EDX showed dimple of ductile fractures.

Keywords: laterite steel, heat treatment, austemper, mechanical properties and microstructure

*Corresponding author :

Email: satrio.herbirowo@lipi.go.id

DOI: <http://dx.doi.org/10.37209/jtbbt.v10i1.165>

PENDAHULUAN

Indonesia, khususnya provinsi Sulawesi merupakan salah satu negara yang memiliki cadangan bijih laterit terbesar di dunia [1]. Kandungan nikel yang berasal dari bijih laterit merupakan salah satu bahan baku dalam industri pembuatan baja [2]. Baja memiliki peranan yang sangat penting sebagai bahan baku untuk pembangunan dalam berbagai bidang. Maka dengan perannya yang sangat penting tersebut, keberadaan industri baja menjadi sangat strategis untuk kemakmuran suatu negara [3]. Kebutuhan akan bijih besi saat ini mengalami peningkatan secara signifikan sehingga berdampak pada kebutuhan besi dunia yang semakin tinggi juga. Ketersediaan bijih besi primer di Indonesia sangat tidak memadai untuk mendukung industri besi baja secara nasional karena jumlah cadangan sangat kecil dibandingkan kebutuhan industri baja nasional [4].

Indonesia memiliki sumber bijih laterit yang melimpah, tetapi sumber daya ini belum dipertimbangkan sebagai bahan baku utama dalam industri baja Indonesia [5]. Oleh karena itu, dibutuhkan industri pengolahan baja yang optimal dalam mengembangkan bijih laterit menjadi baja laterit yang memenuhi standard sehingga dapat dimanfaatkan dalam industri baja nasional. Baja laterit memiliki perbedaan kadar nikel dengan baja konvensional yaitu sebesar 3-4% kadar nikel yang sangat menguntungkan untuk sifat baja [6]. Beberapa studi telah mempelajari bahwa baja yang memiliki kadar nikel antara 1-4% memiliki sifat ketahanan korosi yang baik, ketangguhan yang meningkat dan kekuatan yang baik [7]. Dengan menambahkan unsur Cr dan Mo mencapai 1% diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanik baja laterit untuk aplikasi baja paduan kekuatan tinggi [8].

Penelitian ini membahas proses peningkatan sifat mekanik baja laterit paduan Cr-Mo dengan perlakuan panas karburisasi *austemper*. Proses perlakuan panas adalah proses perubahan sifat logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan tanpa mengubah komposisi kimia asalnya [9]. Salah satunya dengan proses *austemper* yaitu proses perlakuan panas yang bertujuan untuk menghasilkan suatu mikrostruktur yang memiliki karakteristik kekuatan yang tinggi serta keuletan dan ketahanan aus yang baik [10]. Proses

karburisasi adalah proses peningkatan kekerasan permukaan dari suatu logam dengan proses vakum ataupun proses atmosferik menggunakan gas karbon atau media arang [11].

Penelitian ini menggunakan baja laterit paduan Cr-Mo yang diproses melalui pengecoran. Parameter yang divariasikan dalam penelitian ini adalah perlakuan panas karburisasi *austemper* menggunakan serbuk arang halus dan pendinginan dengan: (1) semburan udara selama 1 jam, (2) media air, dan (3) didiamkan di dalam tungku selama 24 jam. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas karburisasi *austemper* dan variasi media pendinginan pada baja laterit paduan Cr-Mo terhadap sifat mekanik, struktur mikro, fraktografi dan hasil *Scanning Electron Microscope – Electron Dispersive X-Ray (SEM-EDX) mapping*. Sifat mekanik yang akan diamati dalam penelitian ini adalah kekerasan dan kekuatan impak baja laterit Cr-Mo hasil perlakuan panas karburisasi *austemper*.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Baja paduan Cr-Mo yang mengoptimalkan laterit yang diproduksi Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI, resin *polyester*, arang batok kelapa, etsa Nital 2%.

Metode

Pada penelitian ini diawali dengan mempersiapkan 6 sampel baja laterit yang terdiri dari 3 sampel baja laterit paduan Ni-Mo-Cr dan 3 sampel baja laterit paduan Ni-Mo. Selanjutnya komposisi kimia sampel dianalisis menggunakan *Optical Emission Spectroscopy (OES)*. Sampel awalnya diuji kekerasannya dengan menggunakan metode *Rockwell* tipe C sebelum proses perlakuan panas. Setelah itu dilakukan proses pelilitan kawat pada keenam sampel dan penumbukan arang batok kelapa untuk media karburisasi. Setelah itu dilanjutkan dengan proses pemanasan karburisasi keenam sampel pada suhu austenit 950°C dengan waktu tahan selama 1 jam, kemudian dua sampel didinginkan dengan semburan udara selama 1 jam. Empat sampel lainnya mengalami proses karburisasi *austemper* pada suhu 400°C dengan waktu tahan selama 1 jam. Setelah di proses karburisasi *austemper*, dua sampel didinginkan dengan dibiarkan di dalam tungku selama 1 hari dan dua sampel didinginkan dengan dicelupkan ke dalam air. Setelah

dilakukan variasi media pendinginan dan proses perlakuan panas karburisasi *austemper*, sampel diuji kembali kekerasannya dengan metode *Rockwell Hardness* tipe C, pengujian kekuatan impak dilakukan dengan metode *Charpy*,

kemudian dilanjutkan dengan metalografi dan karakterisasi *SEM-EDX*. Penamaan sampel dan proses perlakuan panas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Penamaan Kode Sampel Baja Laterit Paduan Cr-Mo

No	Kode Sampel	Keterangan
1	4 (Ni-Mo-Cr)	Material baja laterit paduan 1% Cr - 1% Mo
2	5 (Ni-Mo)	Material baja laterit paduan 1% Mo
3	4A	Material kode 4 + proses pemanasan karburisasi + karburisasi <i>austemper</i> + media pendinginan air
4	4T	Material kode 4 + proses pemanasan karburisasi + karburisasi <i>austemper</i> + media pendinginan tungku
5	4K	Material kode 4 + proses pemanasan karburisasi + media pendinginan semburan udara
6	5A	Material kode 5 + proses pemanasan karburisasi + karburisasi <i>austemper</i> + media pendinginan air
7	5T	Material kode 5 + proses pemanasan karburisasi + karburisasi <i>austemper</i> + media pendinginan tungku
8	5K	Material kode 5 + proses pemanasan karburisasi + media pendinginan semburan udara

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi Kimia

Komposisi unsur baja laterit yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Persentase Komposisi Unsur Baja Laterit

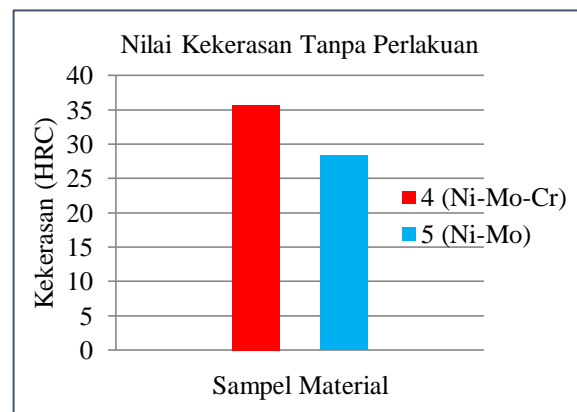
Material	Komposisi Unsur (%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
4 (Ni-Cr-Mo)	0,1238	0,4674	0,532	0,0005	0,0003	1,074	2,175	0,952
5 (Ni-Mo)	0,2639	0,398	0,4268	0,0005	0,0003	0,1952	2,195	0,937

Persentase kadar C sebesar 0,2138% diperoleh pada sampel no 4 dan sebesar 0,2639% pada sampel no 5, sehingga dikategorikan sebagai baja karbon rendah. Ditinjau dari unsur paduannya, baja ini termasuk baja paduan rendah karena tidak mengandung lebih dari 8% paduan di setiap unsur paduannya. Jika kekuatan yang dihasilkan bisa mencapai standar tertentu, maka baja laterit bisa dirujuk sebagai baja paduan rendah berkekuatan tinggi atau yang lebih dikenal dengan istilah *High Strength Low Alloy Steel* (HSLA). Hal itu disebabkan karena salah satu indikasi baja HSLA adalah memiliki kandungan karbon dengan rentang 0,05 - 0,25% [12].

Sifat Keras

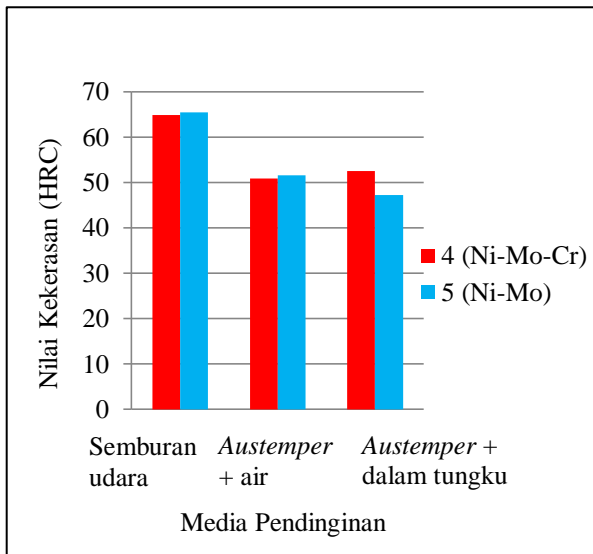
Uji sifat keras dilakukan sebanyak lima titik pada setiap sampel. Dari kelima hasil uji

kekerasan tersebut dihitung rata-rata dalam skala HRC (*Hardness Rockwell*) tipe C. Uji sifat keras dilakukan pada sampel tanpa perlakuan dan sampel yang telah diberi perlakuan panas.



Gambar 1. Hasil Uji Sifat Keras Sampel Tanpa Perlakuan

Pada Gambar 1 ini dapat dilihat hasil dari pengujian sampel material awal yang akan digunakan sebagai pembandingan dari hasil pengujian bahan material yang telah mengalami proses *heat treatment*.



Gambar 2. Hasil Uji Kekerasan Setelah Proses Perlakuan Panas

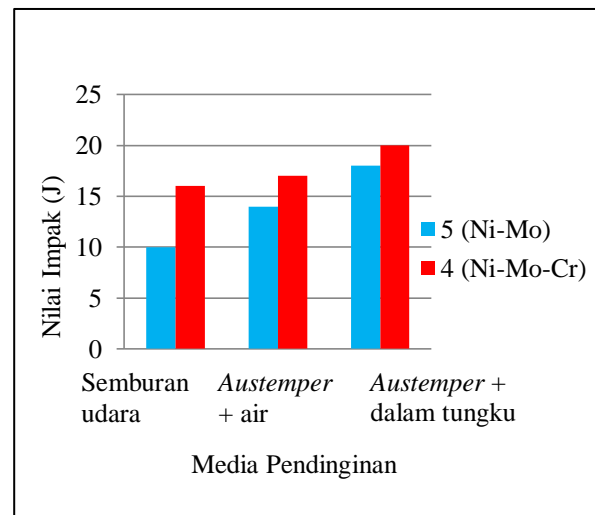
Hasil uji sifat keras pada Gambar 1 dan 2 menunjukkan peningkatan sifat mekanik kekerasan sampel sebelum *heat treatment* dibandingkan dengan sampel yang sudah mengalami proses *heat treatment*. Gambar 2 menunjukkan sifat keras tertinggi sebesar 65,48 HRC yang dicapai oleh sampel 5 (Ni-Mo) dengan variasi metode pendinginan dengan semburan udara. Pada sampel *non treatment* nilai kekerasan tertinggi terjadi pada sampel no 4 (Ni-Mo-Cr), sedangkan pada sampel *heat treatment* terjadi pada sampel no 5 (Ni-Mo). Hal ini dipengaruhi oleh struktur mikro atau fasa yang terbentuk. Beberapa faktor yang mempengaruhi yaitu temperatur pemanasan dan laju pendinginan, serta transformasi struktur mikro dan senyawa yang terbentuk [13].

Kekuatan Impak

Pengujian impact ini menggunakan metode Charpy sesuai standar prosedur pengujian impact ASTM E23 yang bertujuan untuk menguji kekuatan material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu dan mengetahui kemampuan spesimen dalam menyerap energi yang diberikan [14].

Gambar 3 hasil pengujian impact dengan metode Charpy menunjukkan sampel 4T (Ni-Mo-Cr) memiliki nilai energi tertinggi yaitu sebesar

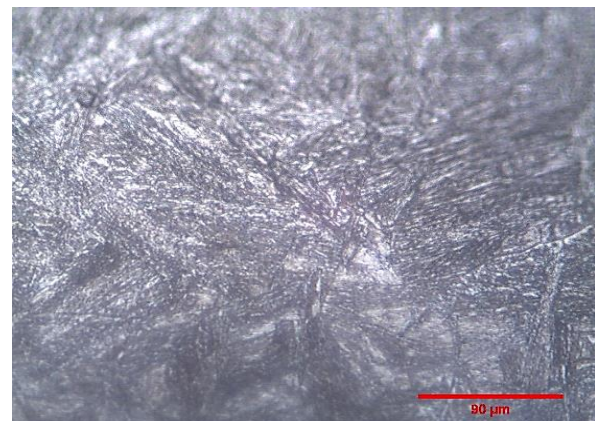
20 Joule, Hal ini terjadi karena sampel no 4 mengandung unsur Cr yang dapat meningkatkan keuletan material dibandingkan sampel no 5 yang tidak mengandung unsur Cr [15].



Gambar 3. Hasil Pengujian Kekuatan Impak

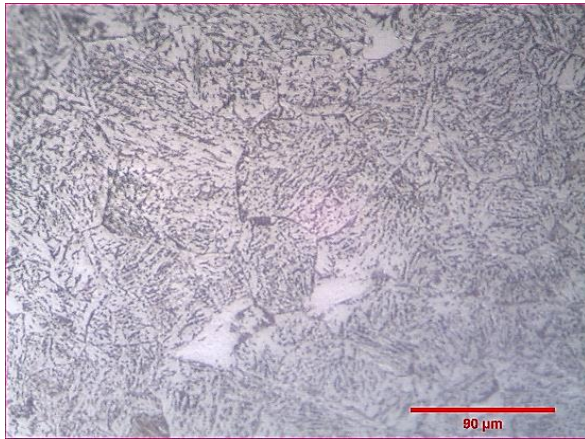
Metalografi

Struktur mikro baja laterit paduan Cr-Mo yang telah diberi proses perlakuan panas diamati dengan mikroskop optik pada perbesaran 500x menggunakan etsa Nital 2%. Struktur mikro menunjukkan morfologi butir dan fasa yang terbentuk pada baja laterit paduan Cr-Mo yang telah diberi perlakuan panas.



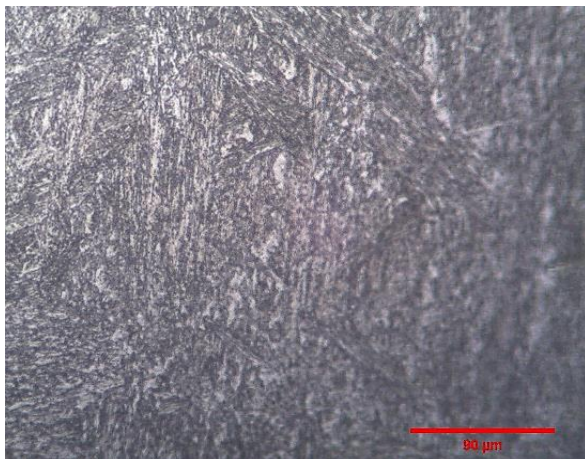
Gambar 4. Hasil Uji Metalografi Sampel 4K

Gambar 4 merupakan hasil uji metalografi sampel 4K pada proses pendinginan dengan semburan udara, yang menunjukkan terbentuknya fasa ferit dan fasa martensit. Fasa yang berwarna terang adalah ferit dan yang berwarna gelap adalah martensit. Fasa martensit terbentuk akibat laju pendinginan yang tinggi saat semburan dengan udara.



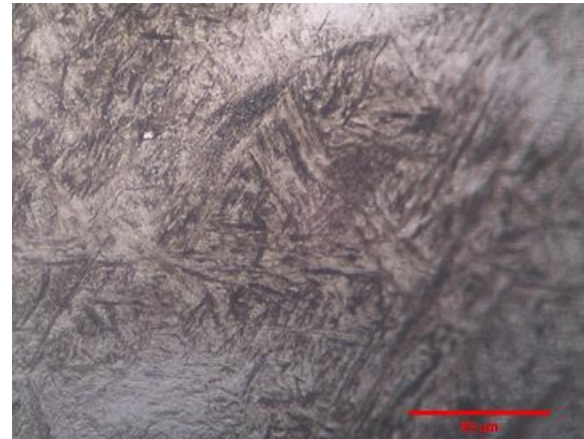
Gambar 5. Hasil Uji Metalografi Sampel 4A

Gambar 5 adalah hasil uji metalografi sampel 4A dengan proses *austemper* serta didinginkan dalam media air, yang menunjukkan terbentuknya fasa ferit berwarna terang dan martensit temper berwarna gelap. Seperti pada sampel 4K (Gambar 4), fasa martensit pada sampel ini terbentuk akibat laju pendinginan yang tinggi saat pencelupan ke dalam air.

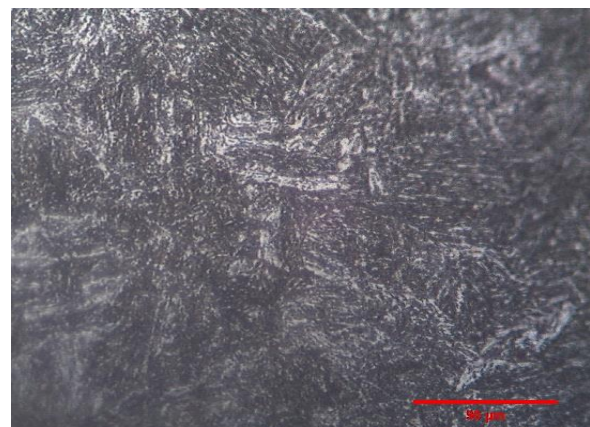


Gambar 6. Hasil Uji Metalografi Sampel 4T

Gambar 6 adalah hasil uji metalografi sampel 4T dengan proses *austemper* serta didinginkan di dalam tungku, yang menunjukkan terbentuknya fasa perlit yang berwarna gelap. Gambar 7 adalah hasil metalografi sampel 5K dengan proses pendinginan semburan udara yang menunjukkan terbentuknya fasa ferit berwarna terang dan martensit berwarna gelap. Fasa martensit pada sampel ini terbentuk akibat laju pendinginan yang tinggi saat proses pendinginan semburan udara.

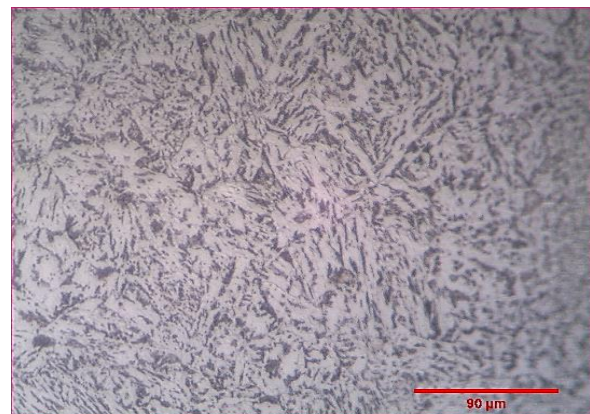


Gambar 7. Hasil Uji Metalografi Sampel 5K



Gambar 8. Hasil Uji Metalografi Sampel 5A

Gambar 8 adalah hasil metalografi sampel 5A dengan proses *austemper* serta didinginkan dalam media air, yang menunjukkan terbentuknya fasa ferit berwarna terang dan martensit temper berwarna gelap.

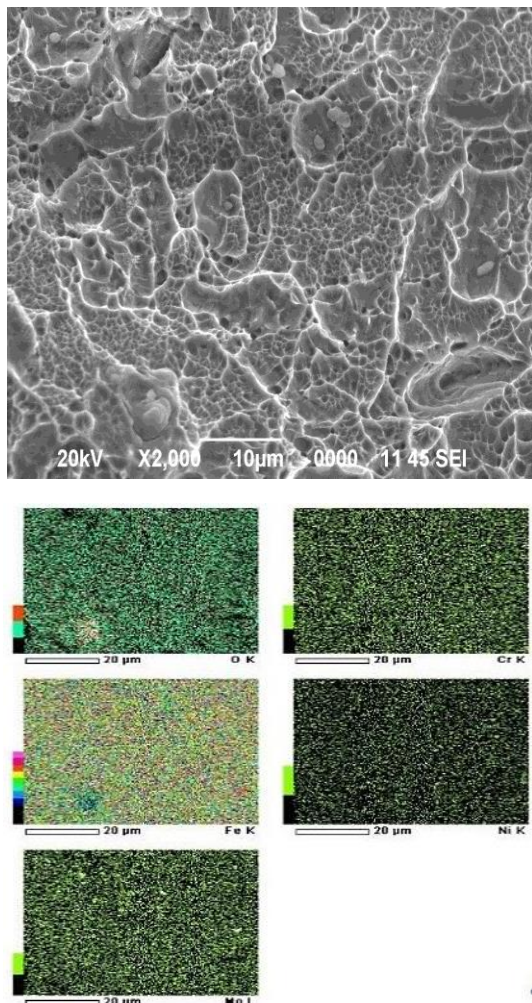


Gambar 9. Hasil Uji Metalografi Sampel 5T

Gambar 9 adalah hasil metalografi sampel 5T dengan proses *austemper* serta dibiarkan di dalam tungku, yang menunjukkan terbentuknya fasa perlit berwarna gelap dan bainit berwarna terang [16]. Pendinginan di dalam tungku menghasilkan *cooling rate* moderat yang mengarah pada daerah pembentukan struktur bainit di kurva *time-temperature-transformation* (TTT) [17].

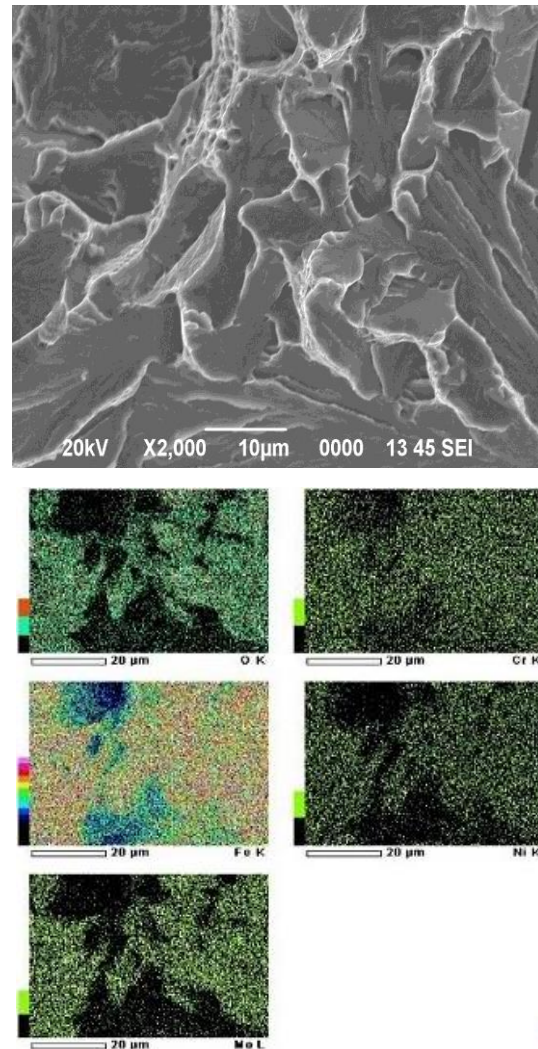
Morfologi SEM-EDX

Untuk membuktikan hasil pengujian mekanik lebih lanjut, maka dilakukan karakterisasi struktur mikro dengan SEM-EDX untuk melihat bagian patahan dari spesimen dan pembuktian sifat keras atau ulet dari sampel baja laterit paduan Cr-Mo dengan perbesaran 2000x, 1000x dan hasil *mapping*.



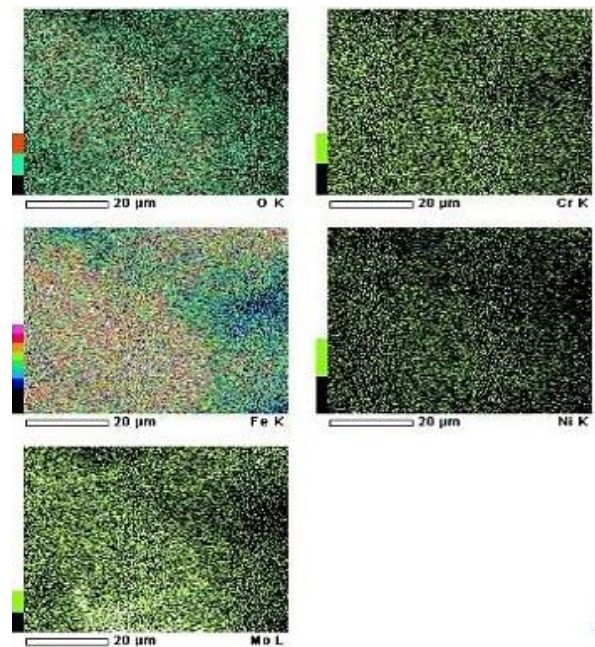
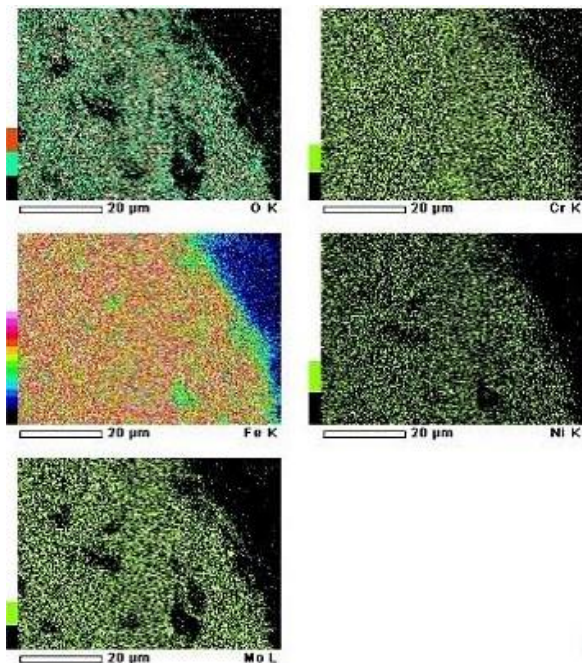
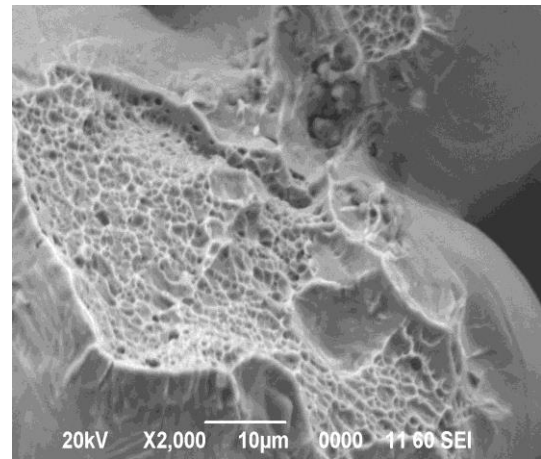
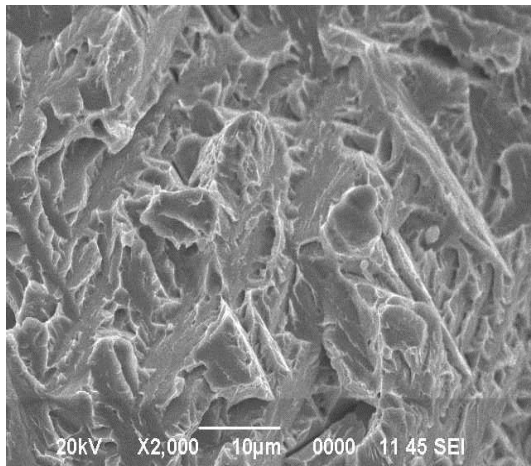
Gambar 10. Hasil Uji SEM-EDX dengan Perbesaran 2000x pada Sampel 4K dengan Pendinginan Semburan Udara dan Hasil *Mapping*

Gambar 10 menunjukkan hasil fraktografi karakteristik patah *cleavage* pada sampel 4K yang mencirikan sifat material getas [18]. Kegetasan material ini berhubungan dengan kadar fasa martensit yang terbentuk akibat pendinginan dengan semburan udara. Hasil *mapping* menunjukkan unsur Cr, Ni, Mo terlarut dan terdistribusi merata di dalam sampel.



Gambar 11. Hasil Uji SEM-EDX dengan Perbesaran 2000x pada Sampel 4A dengan Pendinginan dalam Media Air dan Hasil *Mapping*.

Gambar 11 menunjukkan hasil fraktografi pada sampel 4A ini patah getas, dengan fenomena terdifusinya unsur C dan O. Pendinginan dalam air yang menghasilkan fasa martensit berdampak pada patah getas ini. Hasil *mapping* menunjukkan unsur Cr, Ni, Mo terlarut dan terdistribusi merata di dalam sampel.

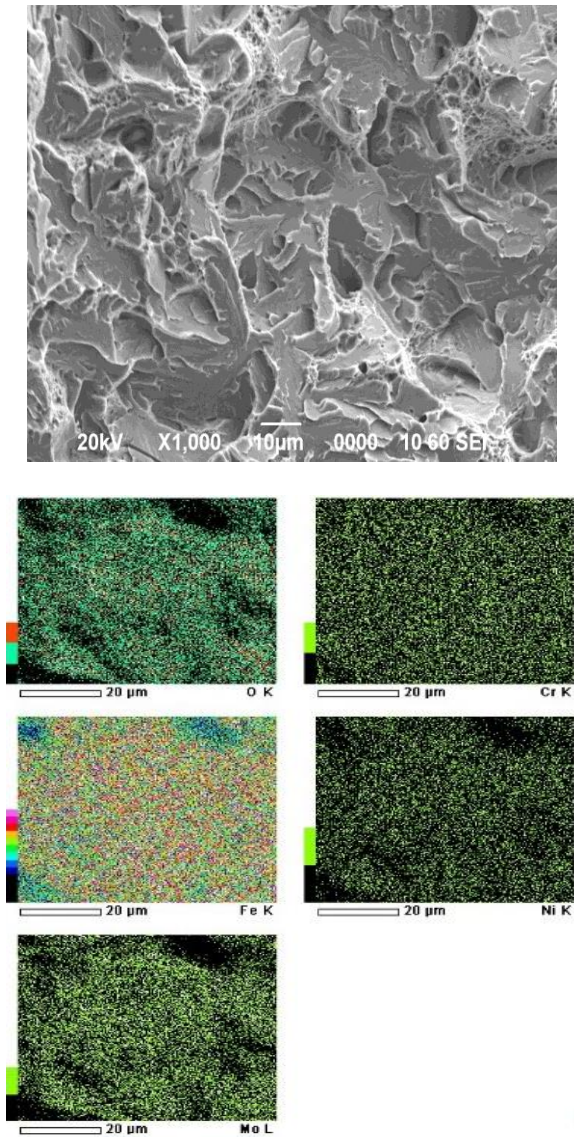


Gambar 12. Hasil Uji SEM-EDX dengan Perbesaran 2000x pada Sampel 4T dengan Pendinginan di Dalam Tungku dan Hasil Mapping

Gambar 12 hasil fraktografi pada sampel 4T menunjukkan *inhomogeneous dimple distribution* sehingga terindikasi patah ulet [19]. Pendinginan dalam tungku bersifat moderat dan tidak menghasilkan fasa martensit yang bersifat getas. Hasil *mapping* menunjukkan unsur Cr, Ni, Mo terlarut dan beberapa area terlihat gelap karena kontur morfologi yang tidak merata.

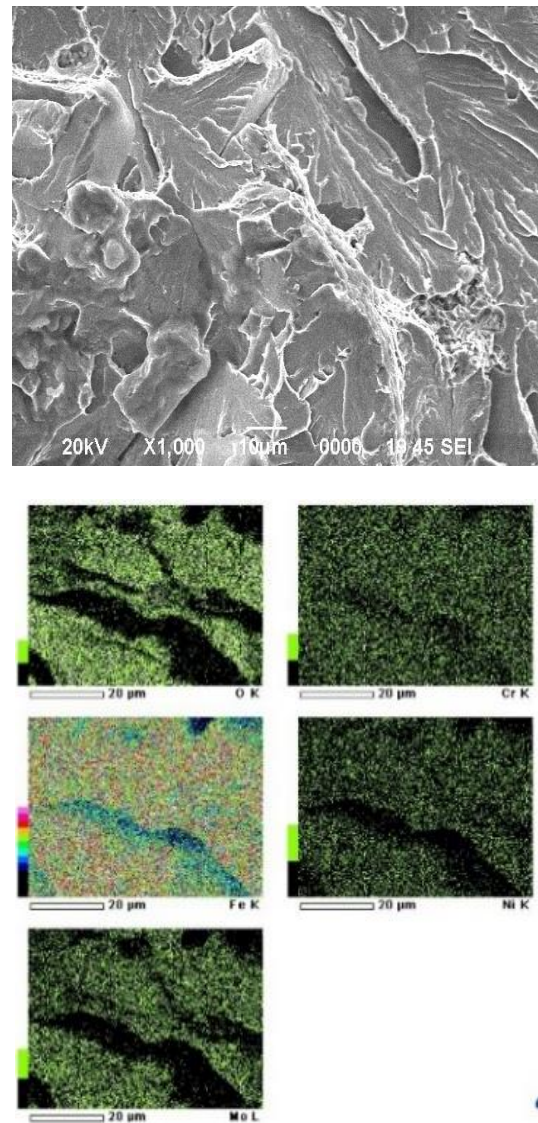
Gambar 13. Hasil Uji SEM-EDX dengan Perbesaran 2000x pada Sampel 5K dengan Pendinginan Semburan Udara dan Hasil Mapping

Gambar 13 merupakan hasil fraktografi sampel 5K yang menunjukkan adanya *dimple* pada bagian tengah, dan pada patahan pinggiran menunjukkan adanya intergranular sera inklusi yang membuat sampel menjadi getas [19]. Hasil *mapping* menunjukkan unsur Cr, Ni, Mo terdistribusi merata di dalam sampel.



Gambar 14. Hasil Uji SEM-EDX dengan Perbesaran 1000x pada Sampel 5A dengan Pendinginan Dichelupkan ke Dalam Media Air dan Hasil *Mapping*.

Gambar 14 menunjukkan bahwa sampel 5A memiliki *cleavage* atau patah getas. Seperti layaknya pendinginan semburan udara, pendinginan dalam air menghasilkan fasa martensit bersifat keras. Hasil *mapping* menunjukkan unsur Cr, Ni, Mo terlarut dan terdistribusi merata di dalam sampel.



Gambar 15. Hasil Uji SEM-EDX dengan Perbesaran 1000x pada Sampel 5T dengan Dibiarkan di Dalam Tungku dan Hasil *Mapping*.

Gambar 15 menunjukkan sampel 5T terindikasi patah ulet, terlihat dengan adanya *slip dislocation* pada bagian tengah yang mengindikasikan terjadinya patah ulet yang kemudian menstimulus pembentukan fasa bainit sebagai konsekuensi pendinginan dengan laju moderat di dalam tungku [20]. Hasil *mapping* menunjukkan unsur Cr, Ni, Mo terdifusi dan beberapa bagian tidak terdeteksi unsurnya dibagian kontur bawah serta dislokasi tersebut.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Baja laterit paduan Cr-Mo memiliki komposisi kimia dengan kandungan C sebesar 0,2138% pada sampel no 4 dan sebesar 0,2639% pada sampel no 5 yang menunjukkan baja karbon rendah. Baja ini juga termasuk baja paduan rendah karena tidak mengandung lebih dari 8% paduan di setiap unsur paduannya. Nilai kekerasan sebelum dan sesudah perlakuan panas meningkat pada semua sampel uji. Nilai kekerasan tertinggi sebesar 65,48 HRC, diperoleh pada sampel 5K (paduan Ni-Mo) dengan pendinginan menggunakan semburan udara selama 1 jam yang membentuk fasa ferit, perlit dan martensit. Nilai energi tertinggi hasil uji dampak yaitu 20 Joule, diperoleh pada sampel 4T (paduan Ni-Mo-Cr) dengan *austemper* dan variasi media pendinginan dibiarkan di dalam tungku. Hasil fraktografi dengan SEM-EDX menunjukkan patah ulet maupun patah getas akibat laju pendinginan serta pembentukan fasa martensit.

Saran

Pada saat proses *austemper* lebih baik menggunakan variasi suhu yang lebih variatif seperti 500, 600 dan 700°C. Hal ini ditujukan agar dapat mengetahui suhu *austemper* mana yang membuat nilai kekerasan, nilai kekuatan dampak meningkat dan transformasi lebih jelas pada struktur mikro dan hasil fraktografi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material-LIPI yang telah mengizinkan kami untuk melakukan penelitian ini dan semua pihak yang telah bekerja sama dari tim peneliti maupun teknisi Baja Unggul Nasional Berbasis Laterit dan *Non Ferrous*.

DAFTAR PUSTAKA

[1] R. Subagja, A. B. Prasetyo, and W. M. Sari, "Peningkatan Kadar Nikel dalam Laterit Jenis Limonit dengan Cara Peletasi, Pemanggangan Reduksi dan Pemisahan Magnet Campuran Bijih, Baru bara, dan Na₂SO₄," *J. Mater. Metal.*, vol. 2, pp. 103–115, 2016.

[2] H. Basturkcü, M. Achimovičová, M. Kaňuchová, and N. Acarkan, "Mechanochemical pre-treatment of lateritic nickel ore with sulfur followed by atmospheric leaching," *Hydrometallurgy*, 2018., doi:10.1016/j.hydromet.2018.08.016.

[3] T. Ishlah, "Potensi Bijih besi Indonesia dalam Kerangka Pengembangan Klaster Industri Baja," *Buletin Sumber Daya Geologi*, pp. 1–12, 2019.

[4] I. Saefuloh, A. Zahrawani, and B. Adjiantoro, "Pengaruh Proses Quenching Dan Tempering Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah Dengan Paduan Laterit," *J. Tek. Mesin Untirta*, vol. IV, no. 1, pp. 56–64, 2018.

[5] M. Y. Hasbi, D. P. Malau, and B. Adjiantoro, "Pengaruh Variasi Reduksi Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Laterit Melalui Pengerolan Panas," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, 2016, pp. 1–8.

[6] C. Wen, Y. Tian, G. Wang, J. Hu, and P. Deng, "The Influence of Nickel on Corrosion Behavior of Low Alloy Steel in a Cyclic Wet-dry Condition," *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 11, pp. 4161–4173, 2016., doi: 10.20964/110148.

[7] M. Agung Prasetyo, V. Puspasari, M. Syaiful Anwar, A. Nikitasari, and E. Mabruri, "Mechanical properties of modified cast martensitic stainless steel CA6NM with addition of molybdenum and nitrogen," in *AIP Conference Proceeding*, 2020, vol. 2232, no. 060001.

[8] I. Díaz *et al.*, "Five-year atmospheric corrosion of Cu, Cr and Ni weathering steels in a wide range of environments," *Corros. Sci.*, vol. 141, no. July, pp. 146–157, 2018., doi: 10.1016/j.corsci.2018.06.039.

[9] S. Herbirowo and B. Adjiantoro, "Pengaruh Perlakuan Panas terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Mekanik Baja Nikel Laterit," *Widyariset*, vol. 2, no. 2, pp. 153–160, 2016.

[10] E. Mabruri *et al.*, "Influence of Austenitizing Heat Treatment on the Properties of the Tempered Type 410-1Mo Stainless Steel Influence of Austenitizing Heat Treatment on the Properties of the Tempered Type 410-1Mo Stainless Steel,"

- IOP Conference Series: Materias Science and Engineering*, 2017, doi: 10.1088/1757-899X/202/1/012085.
- [11] J. Buckley and B. D. Hansen, "Carburization of Steel Components," US 10,494,708 B2, 2019.
- [12] G. F. Vander Voort, S. R. Lampman, B. R. Sanders, G. J. Anton, C. Polakowski, and M. Park, "ASM Handbook Metallography and Microstructures", vol. 9. *Materials Park, Ohio: ASM International*, 2004.
- [13] G. E. Totten, *Steel Heat Treatment Handbook*, 2nd Editio. New York: Taylor & Francis Group, 2006.
- [14] T. Fras, C. C. Roth, and D. Mohr, "Fracture of high-strength armor steel under impact loading," *Int. J. Impact Eng.*, vol. 111, pp. 147–164, 2017, doi: 10.1016/j.ijimpeng.2017.09.009.
- [15] Y. Takashima, "Fracture toughness evaluation for dissimilar steel joints by Charpy impact test," *Weld. World*, vol. 63, pp. 1243–1254, 2019.
- [16] G. D. Haryadi, "Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan, kekuatan Tarik dan Struktur Mikro pada Baja K-460," *ROTASI*, vol. 8, no. 2, pp. 1–8, 2014.
- [17] W. D. Callister, *Fundamental of Materials Science and Engineering*, 5th Edition. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- [18] A. Azhari, "Pengaruh Proes Tempering dan Proses Pengerolan di Bawah dan di atas Temperatur Rekristalisasi pada Baja Karbon Sedang Terhadap Struktur Mikro untuk Mata Pisau Pemanen Sawit," *J. e-Dinamis*, vol. II, no. 2, pp. 10–22, 2012.
- [19] G.A. Pantazopoulos, "A Short Review on Fracture Mechanisms of Mechanical Components Operated under Industrial Process Conditions: Fractographic Analysis and Selected Prevention Strategies", *Metals*, 9, 148, 2019
- [20] X. Jin, et.al, " The effect of undissolved and temper-induced (Ti,Mo)C precipitates on hydrogen embrittlement of quenched and tempered Cr-Mo steel", *Corrosion Science*,<https://doi.org/10.1016/j.corsci.2019.108421>, 2019