

Pengaruh *heat treatment* pada paduan Fe-Cr-Ni-Mo untuk bahan AISI 316L terhadap kekerasan dan struktur mikro menggunakan *ferronickel* lokal

Effect of heat treatment on Fe-Cr-Ni-Mo alloy for AISI 316L on hardness and microstructure using local ferronickel

SKRIPSI



Oleh:

Nama: Samsul Alwi Gufron

NPM: 193030100

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2024**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Samsul Alwi Gufron
NPM : 193030100
Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Dalam skripsi yang saya kerjakan ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan/ditulis oleh orang lain untuk memperoleh gelar dari suatu perguruan tinggi,
2. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu/dikutip/disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam referensi,
3. Naskah laporan skripsi yang ditulis bukan dilakukan secara *copy paste* dari karya orang lain dan mengganti beberapa kata yang tidak perlu.
4. Naskah laporan skripsi bukan hasil *plagiarism*.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka saya sanggup menerima hukuman/sanksi apapun sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 31 Desember 2024

Penulis,



Samsul Alwi Gufron

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini, sebagai sivitas akademik Universitas Pasundan, saya:

Nama : Samsul Alwi Gufron
NPM : 193030100
Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS
Jenis Karya : Skripsi

Menyatakan bahwa sebagai pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, saya menyetujui memberikan kepada Universitas Pasundan Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

"Pengaruh *Heat Treatment* Pada Paduan Fe-Cr-Ni-Mo Untuk Bahan AISI 316L Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Menggunakan *Ferronickel* Lokal"

Beserta perangkat yang ada (jika ada). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pasundan berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pakalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Usulan penelitian saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Bandung, 31 Desember 2024

Yang menyatakan,

Samsul Alwi Gufron

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

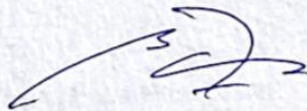
**Pengaruh *heat treatment* pada paduan Fe-Cr-Ni-Mo
untuk bahan AISI 316L terhadap kekerasan dan struktur
mikro menggunakan *ferronickel* lokal**



Nama: Samsul Alwi Gufron

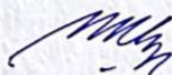
NPM: 193030100

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Muki Satya Permana, M.T.

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. Djoko Hadi Prajitno, MSME.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

**Pengaruh *heat treatment* pada paduan Fe-Cr-Ni-Mo
untuk bahan AISI 316L terhadap kekerasan dan struktur
mikro menggunakan *ferronickel* lokal**



Nama: Samsul Alwi Gufron

NPM: 193030100

Tanggal sidang skripsi: 31 Desember 2024

Ketua : Dr. Ir. Muki Satya Permana, M.T

Sekretaris : Dr. Ir. Djoko Hadi Prajitno, MSME

Anggota : Mohammad Reza Hermawan, S.T., M.T.

Anggota : Dr. Ir. Sugiharto, M.T.

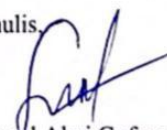
KATA PENGANTAR

Pujian dan bersyukur kita limpahkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang terus menerus melimpahkan kenikmatan karunia dan rahmat-Nya kepada kita, maka itu penulis bisa melaksanakan tugas akhir usulan penelitian yang berjudul: Pengaruh *heat treatment* pada paduan Fe-Cr-Ni-Mo 321 menggunakan *ferronickel* lokal" dengan lancar dan sesuai seperti yang telah diharapkan. Selawat serta salam semoga semoga tetap tercurah limpahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Skripsi ini disusun berkat dukungan dari banyak pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Muki Satya Permana, M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama Skripsi yang telah memberikan bimbingan dan ilmu pengetahuan serta meluangkan waktu untuk penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi.
2. Bapak Dr. Ir. Djoko Hadi Prajitno, MSME. selaku Dosen Pembimbing Pendamping Skripsi yang telah meluangkan waktu dan tenaga serta memberikan ilmu pengetahuan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi.
3. Kedua orang tua yang tak henti-hentinya mendo'akan dan memberikan dukungan untuk senantiasa bersemangat dalam menutaskan kewajiban penulis sebagai mahasiswa untuk bertanggung jawab atas segala tugas yang telah diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
4. Rekan-rekan Mahasiswa Teknik Mesin 2019 yang telah memberikan motivasi dan dukungan dalam menyelesaikan laporan ini.

Bandung, 31 Desember 2024

Penulis,



Samsul Alwi Gufron

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN.....	i
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	x
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1. Latar belakang.....	1
2. Rumusan masalah	1
3. Tujuan	2
4. Manfaat	2
5. Batasan masalah.....	2
6. Sistematika penulisan.....	2
BAB II STUDI LITERATUR	4
1. Baja tahan karat (<i>stainless steel</i> 316L)	4
2. Klasifikasi <i>stainless steel</i>	4
3. <i>Austentic stainless steel</i> 316L	5
4. <i>Ferronickel</i>	9
5. <i>Heat treatment</i>	10
6. <i>Heat treatment</i> pada <i>austentic stainless steel</i>	10

7. <i>Solution annelaing</i>	11
8. <i>Direct quenching</i>	11
9. Uji keras (<i>hardness test</i>)	12
10. Uji metalografi	12
BAB III METODOLOGI	14
1. Pengujian <i>heat treatment</i>	14
2. Tempat penelitian.....	15
3. <i>Setup</i> pengukuran/pengujian	16
4. Alat dan bahan yang digunakan	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	19
1. Hasil pengujian dan pembahasan.....	19
A. Hasil pengamatan <i>heat treatment</i>	19
B. Hasil pengamatan metalografi	20
C. Hasil uji vickers spesimen	22
2. Analisa	26
A. Metalografi <i>holding time</i> 4 jam dan 9 jam	26
B. Hasil uji kekerasan.....	26
3. Hasil dan Pembahasan	27
A. Hasil penelitian.....	27
B. Pembahasan	28
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	30
1. Kesimpulan	30
2. Saran	30
DAFTAR PUSTAKA	32
LAMPIRAN	35
1. Data hasil pengujian.....	35
2. Hasil pengolahan data	40
3. Spesifikasi teknis	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Komposisi baja tahan karat austenitik.....	6
Gambar 2. Diagram hubungan jenis baja tahan karat [1].....	9
Gambar 3. Diagram fasa <i>stainless steel</i> 316L [5]	11
Gambar 4. Alat uji keras	12
Gambar 5. Alat metalografi.....	13
Gambar 6. Diagram alir	14
Gambar 7. Tungku listrik <i>heat treatment</i>	17
Gambar 8. Alat uji metalografi	18
Gambar 9. Alat uji kekerasan.....	18
Gambar 10. Visualisasi spesimen setelah <i>heat treatment</i>	19
Gambar 11. Visualisasi resin spesimen	20
Gambar 12. Metalografi spesimen a dan b.....	21
Gambar 13. Metalografi spesimen a dan b.....	21
Gambar 14. Metalografi spesimen a dan b.....	22
Gambar 15. Indentasi spesimen a dan b.....	23
Gambar 16. Indentasi spesimen a dan b.....	24
Gambar 17. Indentasi spesimen a dan b.....	25
Gambar 18. Grafik kekerasan hardness Vickers	27
Gambar 19. Hasil pengujian <i>heat treatment</i>	35
Gambar 20. Metalografi spesimen a dan b <i>non heat treatment</i>	35
Gambar 21. Metalografi spesimen a dan b, <i>holding time</i> 4 jam.....	36
Gambar 22. Metalografi spesimen a dan b, <i>holding time</i> 9 jam.....	36
Gambar 23. Indentasi spesimen a dan b non heat treatment	37
Gambar 24. Indentasi spesimen a dan b <i>holding time</i> 4 jam.....	38
Gambar 25. Indentasi spesimen a dan b <i>holding time</i> 9 jam.....	39
Gambar 26. Grafik kekerasan <i>hardness vickers</i>	40

DAFTAR TABEL

Table 1. Unsur kimia ferronickel [1].....	10
Table 2. Unsur paduan spesimen 1.....	16
Table 3. Unsur paduan spesimen 2.....	16
Table 4. Alat dan bahan.....	16
Table 5. Hasil uji kekerasan spesimen a dan b.....	23
Table 6. Hasil uji kekerasan spesimen a dan b.....	24
Table 7. Hasil uji kekerasan spesimen a dan b.....	25
Table 8. Perbandingan kekerasan spesimen.....	27
Table 9. Indentasi kekerasan spesimen a dan b non <i>heat treatment</i>	37
Table 10. Indentasi kekerasan spesimen a dan b <i>holding time</i> 4 jam.....	38
Table 11. Indentasi kekerasan spesimen a dan b <i>holding time</i> 9 jam.....	39
Table 12. Parameter standarisasi <i>austentic stainless steel</i> 316L.....	41

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pengaruh perlakuan panas (*heat treatment*) pada paduan Fe-Cr-Ni-Mo untuk bahan *stainless steel* AISI 316L dengan menggunakan *ferronickel* lokal. Fokus penelitian adalah menganalisis perubahan sifat mekanik, terutama kekerasan dan struktur mikro, akibat variasi kandungan paduan dan durasi *holding time* selama perlakuan panas. Spesimen yang digunakan terdiri dari dua komposisi paduan utama, yaitu Cr 12,72%-Ni 11,46%-Mo 1,377% dan Cr 15,07%-Ni 10,81%-Mo 2,048%. *Heat treatment* dilakukan pada suhu 1050°C dengan variasi *holding time* selama 4 jam dan 9 jam, diikuti pendinginan cepat (*quenching*) menggunakan media air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa spesimen dengan kandungan Cr dan Mo lebih tinggi memiliki kekerasan awal sebesar 192,7 HV, lebih besar dibandingkan spesimen dengan kandungan Cr dan Mo lebih rendah yang memiliki kekerasan awal sebesar 166 HV. Namun, pada kedua spesimen, kekerasan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya *holding time*. Pada *holding time* 4 jam, kekerasan hanya sedikit menurun, sedangkan pada *holding time* 9 jam, penurunan kekerasan menjadi lebih signifikan akibat fenomena *overaging*. Selain itu, analisis struktur mikro menunjukkan pertumbuhan butir yang lebih besar pada *holding time* yang lebih lama. Meski terjadi penurunan kekerasan, nilai kekerasan akhir kedua spesimen masih berada dalam rentang standar AISI 316L, yaitu 150-200 HV. Penelitian ini menyimpulkan bahwa kandungan Cr dan Mo memengaruhi distribusi karbida, sedangkan durasi *holding time* berperan penting dalam menentukan ukuran butir dan kekerasan material. Dengan demikian, penelitian ini memberikan bukti bahwa *ferronickel* lokal memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan baku alternatif dalam pembuatan *stainless steel* AISI 316L, sekaligus meningkatkan nilai tambah bahan lokal untuk aplikasi industri.

Kata kunci: AISI 316L, *Austenitic Stainless Steel*, kekerasan *vickers*, perlakuan panas, struktur mikro.

ABSTRACT

This study aims to explore the effect of heat treatment on Fe-Cr-Ni-Mo alloys used for AISI 316L stainless steel with the incorporation of local ferronickel. The research focuses on analyzing changes in mechanical properties, particularly hardness and microstructure, due to variations in alloy composition and holding time during the heat treatment process. The specimens used include two primary alloy compositions: Cr 12.72%-Ni 11.46%-Mo 1.377% and Cr 15.07%-Ni 10.81%-Mo 2.048%. The heat treatment process was conducted at a temperature of 1050°C with holding times of 4 and 9 hours, followed by rapid cooling (quenching) using water as the cooling medium. The results revealed that specimens with higher Cr and Mo content exhibited an initial hardness of 192.7 HV, which was higher compared to specimens with lower Cr and Mo content, showing an initial hardness of 166 HV. However, the hardness of both specimens decreased as the holding time increased. At 4 hours of holding time, the hardness slightly decreased, whereas at 9 hours, a more significant decrease was observed due to the overaging phenomenon. Furthermore, microstructure analysis indicated larger grain growth with prolonged holding time. Despite the reduction in hardness, the final hardness values of both specimens remained within the AISI 316L standard range of 150-200 HV. This study concludes that Cr and Mo content significantly influence carbide distribution, while holding time plays a crucial role in determining grain size and material hardness. Therefore, this research demonstrates that local ferronickel has the potential to be used as an alternative raw material for producing AISI 316L stainless steel, thereby enhancing the added value of local resources for industrial applications.

Keywords: AISI 316L, austenitic Stainless Steel, AISI 316L, hardness vickers, heat treatment, microstructure.

BAB I PENDAHULUAN

1. Latar belakang

Austenitic stainless steel AISI 316L merupakan material primadona di kalangan industri terutama di industri kimia, industri konstruksi dan industri makanan [1]. Hal ini dikarenakan AISI 316L mempunyai keunggulan yaitu mampu las yang baik (*Weldability*), mampu bentuk yang baik (*Formability*) dan memiliki sifat ketahanan *pitting corrosion* dibandingkan dengan jenis material yang lain tanpa unsur *Molybdenum* [2]. Perkembangan teknologi di bidang industri sangat berkembang pesat, hampir setiap industri membutuhkan material *austenitic Stainless Steel*. Pada penelitian sebelumnya *austenitic stainless steel* juga dilakukan perlakuan panas dengan metode *cryogenic quenching* dan dapat memperbaiki sifat mekaniknya untuk keperluan di dalam ilmu medis.

Fokus utama penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh proses perlakuan panas terhadap kekerasan paduan dan sifat struktur mikro pada spesimen dan standarisasi dari *austenitic stainless steel 316L*. AISI 316L memiliki fasa austenit yang stabil sampai temperatur kamar sehingga proses perlakuan panas secara umum tidak dapat dilakukan karena tidak ada transformasi fasa yang terjadi pada saat pemanasan [3]. Penggunaan *ferronickel* lokal sebagai bahan baku dalam paduan *stainless steel* AISI 316L penting untuk meningkatkan nilai tambah industri domestik. *Ferronickel* lokal menawarkan komposisi yang kompetitif, tetapi pengaruhnya terhadap sifat mekanik dan mikro struktur belum banyak diteliti.

Austenitic stainless steel dapat diberi perlakuan panas pada temperatur diatas 1045° C yang umum disebut *annealing solution treatment* bertujuan untuk menaikkan keuletan dan membuat presipitasi karbida pada batas butir dapat larut kembali ke butiran sehingga mencegah efek sensitisasi [4]. Paduan ini dipilih karena memiliki ketahanan terhadap korosi yang tinggi dan sering digunakan dalam berbagai aplikasi industri, termasuk suku cadang mesin, peralatan medis, dan industri kimia untuk meningkatkan sifat mekanik dari *stainless steel* AISI 316L [5].

2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

- a) Bagaimana pengaruh variasi kandungan unsur paduan Fe-Cr-Ni-Mo terhadap tingkat kekerasan pada *stainless steel* AISI 316L menggunakan *ferronickel* lokal.
- b) Bagaimana *holding time* pada proses *heat treatment* memengaruhi struktur mikro *stainless steel* AISI 316L.

3. Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang sudah dikemukakan, tujuan yang ingin dicapai pada skripsi ini adalah:

- a) Menganalisis pengaruh variasi kandungan Cr dan Mo dalam paduan Fe-Cr-Ni-Mo terhadap kekerasan material *stainless steel* AISI 316L.
- b) Menentukan pengaruh variasi *holding time* (4 jam dan 9 jam) pada *heat treatment*.
- c) Membuktikan potensi *ferronickel* lokal sebagai bahan baku pembuatan *stainless steel* AISI 316L yang memenuhi standar kualitas internasional.

4. Manfaat

Adapun beberapa manfaat pada penelitian ini adalah:

- a) Bagi industri: Meningkatkan nilai tambah *ferronickel* lokal sebagai bahan baku pada *stainless steel* AISI 316L, mendukung kemandirian bahan baku industri nasional.
- b) Bagi ilmu pengetahuan: Memberikan wawasan mengenai pengaruh *heat treatment* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro *stainless steel* austenitik, khususnya menggunakan bahan lokal.
- c) Bagi akademisi: Sebagai referensi untuk penelitian lebih lanjut tentang perlakuan panas dan optimalisasi bahan lokal dalam industri metalurgi.

5. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

- a) Penelitian ini hanya menggunakan dua spesimen dengan kandungan unsur Fe, Cr, Ni, dan Mo yang berbeda.
- b) Perlakuan panas dilakukan pada suhu 1050°C dengan variasi *holding time* selama 4 jam dan 9 jam.

6. Sistematika Penulisan

Laporan penelitian ini terdiri dari lima bab. Dengan sistematik penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, dan sistem penulisan.

BAB II STUDI LITERATUR

Bab ini berisi tentang teori-teori dasar penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang tahapan-tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini.

BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi proses pembuatan produk.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas tentang kesimpulan dan saran keseluruhan penelitian yang dilakukan

DAFTAR PUSTAKA

Terdapat buku acuan atau jurnal yang digunakan penulis dalam pembuatan laporan skripsi.

LAMPIRAN



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian pengujian *heat treatment* pada bahan *austentic stainless steel* 316L dapat diberikan suatu kesimpulan penelitian tersebut diantaranya:

- a) Proses *heat treatment* dengan variasi *holding time* mempengaruhi kekerasan dan struktur mikro pada kedua spesimen paduan Fe-Cr-Ni-Mo.
- b) Spesimen dengan kandungan Cr dan Mo yang lebih tinggi (Cr 15,07%-Ni 10,81%-Mo 2,048%) memiliki kekerasan awal yang lebih tinggi.
- c) Semakin lama *holding time*, semakin menurun nilai kekerasan pada kedua spesimen.
- d) Kedua spesimen masih memenuhi standar kekerasan AISI 316L (150-200 HV) setelah *heat treatment*.

2. Saran

Dari hasil penelitian pengujian *heat treatment* pada bahan *austentic stainless steel* 316L dapat diberikan suatu saran penelitian selanjutnya. Saran-saran tersebut diantaranya:

- a) Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi temperatur *heat treatment* untuk mengoptimalkan sifat mekanik material.
- b) Disarankan untuk melakukan pengujian tambahan seperti uji korosi dan uji tarik untuk analisis yang lebih komprehensif.
- c) Untuk aplikasi yang membutuhkan kekerasan tinggi, disarankan menggunakan *holding time* 4 jam.
- d) Perlu dilakukan penelitian dengan variasi komposisi *ferronickel* lokal untuk mengoptimalkan penggunaan bahan baku lokal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Hidayatulloh, "Pembuatan Austenitic Stainless Steel AISI 316L Menggunakan Material Ferronickel Lokal (Manufacture of Austenitic Stainless Steel AISI 316L Using Local Ferronickel Material)", [Online]. Available: <http://repository.unpas.ac.id/67392/>
- [2] G. M. Saputro, "Perancangan Dan Pembatan Tabung Reservoir Reaktor Samop Dengan Bahan Stainless Steel 304," Yogyakarta, May 2008, [Online]. Available: https://repository.usd.ac.id/34465/2/995214133_Full%5B1%5D
- [3] Z. A. Zariyah, "Pengaruh Temperatur Annealing Solution Treatment Dengan Cryogenic Quenching Pada Implan AISI 316L Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro", [Online]. Available: <https://repository.its.ac.id/60990/>
- [4] F. Mulya, "Analisa Korosi Retak Tegangan Pada AISI 304 Yang diberi Perlakuan Panas Dengan Variasi Temperatur," 2019, [Online]. Available: <https://repository.uir.ac.id/8961/>
- [5] M. Pramudia, "Perbaikan Kualitas Material Stainless Steel 316L Pada Aplikasi Implan Penyambung Tulang Dengan Menggunakan Metode Deformasi Dingin, Annealing Stress Relief, Dan Sandblasting," 2013, [Online]. Available: <http://journal.trunojoyo.ac.id/rekayasa>
- [6] A. J. Sinaga, S. Simanjuntak, and C. S. Manurung, "Analisa Laju Korosi dan Kekerasan Pada Stainless Steel 316 L Dalam Larutan 10 % NaCl Dengan Variasi Waktu Perendaman". <https://doi.org/10.36655/sprocket.v1i2.186>
- [7] A. Yafi, H. Ardhyanta, and Sutarsis, "Pengaruh Kadar Kromium (Cr) Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Paduan Fe-Cr-Mn Melalui Proses Peleburan.", [Online]. Available: <https://repository.its.ac.id/64>
- [8] A. K. Lalitha Wujakshana, Sinarep, and IDK Okariawan, "Pengaruh Proses Perlakuan Panas Plat Strip Stainless Steel AISI 304 Dengan Media Pendingin", [Online]. Available: <https://perpusft.unram.ac.id>
- [9] S. Aryadhani, "Pengaruh Variasi Arus Proses GTAW Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Baja Tahan Karat Austenitik AISI 316L", [Online]. Available: <https://digilib.polban.ac.id/download.php?id=18855>

- [10] G. Saputro, "Perancangan Dan Pembuatan Tabung Reservoir Reaktor Samop Dengan Bahan Stainless Steel 304" Universitas Sanata Dharma Yogyakarta 2008, [Online]. Available: <https://repository.usd.ac.id/34465/>
- [11] R. H. Nindya Safitri, "Analisa Sensititasi Pada Baja Tahan Karat Tipe AISI 304 Menggunakan laju panas Normalizing Dengan Variasi Waktu Penahanan," 2018, [Online]. Available: <https://repository.its.ac.id/59192/>
- [12] N. Aini, "Perilaku Korosi Baja AISI 1021 dan AISI 304 Dalam Berbagai Media Asam," 2016, [Online]. Available: <https://repository.its.ac.id/48859/>
- [13] M. S. Gunawan, "Pengaruh Penambahan Kromium (Cr) Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Paduan Fe-Cr-Ni Melalui Proses Pengecoran Menggunakan Electric ARC Furnance," 2016, [Online]. Available: <https://repository.its.ac.id/41798/ju>
- [14] M. Rohmah, "Pengaruh Penempatan Dan Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanik Dan Ketahanan Korosi Pada Modifikasi Baja Laterit A-588," *Metalurgi*, vol. 36, no. 1, p. 33, Apr. 2021, doi: 10.14203/metalurgi.v36i1.579.
- [15] M. Setiawan, "Analisa Proteksi Korosi Dengan Sistem Katodik Pada Peralatan Eksplorasi Pertambangan," 2010, [Online]. Available: <https://repositori.uma.ac.id/jspui/handle/123456789/22295>
- [16] R. A. Mira, P. Sharma, and Pandey, "Thermal and structural studies of carbon coated Mo₂C synthesized via in-situ single step reduction-carburization," *Sci Rep*, vol. 7, no. 1, Dec. 2017, doi: 10.1038/s41598-017-03197-8.
- [17] A. Lestarinigrum, "Analisa Sensititasi Pada Baja Tahan Karat AISI 304 Menggunakan Laju Panas Normalizing Dengan Variasi Temperatur," Jul. 2018, [Online]. Available: <https://repository.its.ac.id/59073/>
- [18] B. Yasmono, "Studi Pengaruh Perlakuan Panas Dan Variasi Media Pendingin Terhadap Presipitasi Karbida KROM Pada Pengelasan SMAW Baja Tahan Karat AISI 304," Jan. 2002, [Online]. Available: <https://repository.its.ac.id/59883/>
- [19] S. Sudaryanto, Sukanto, and Nugroho, "Proses Produksi Feronikel dari Bijih Nikel Laterit dengan Metode Rotary Kiln – Electric Furnace (RKEF)," *Jurnal Penelitian Rumpun Ilmu Teknik*, vol. 2, no. 4, pp. 187–197, Feb. 2024, doi: 10.55606/juprit.v2i4.3456.
- [20] R. S. Gumelar, "Review Pengaruh Reduktan Terhadap Proses Smelting Bijih Nikel Laterit," Surabaya, Nov. 2020, [Online]. Available: <https://repository.its.ac.id/77942/>

- [21] N. Ichsan, "Analisis Pengaruh Proses Heat Treatment Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Pada Baja AISI 1030 Dengan Variasi Media Pendinginan," 2021, [Online]. Available: <https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/12115/>
- [22] M. Prayogi, "Pengaruh Proses Perlakuan Panas Pada Baja NS 1045 Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro," Medan, Dec. 2010, [Online]. Available: <https://repository.uma.ac.id/jspui/handle/123456789/22287>
- [23] A. Setiawan and B. Y. Pamungkas, "Pengaruh Temperature Dan Holding Time Dalam Proses Tempering Terhadap Sifat Mekanik Pipa Low Carbon Steel Low Alloy Grade X65Q," Journal of Metallurgical Engineering and Processing Technology, vol. 3, no. 1, p. 53, Aug. 2022, doi: 10.31315/jmept.v3i1.6538.
- [24] G. Rabbani, A. Sutarsis, S. T. Budi, and A. Kurniawan, "Analisa Pengaruh Temperatur Solution Treatment Dan Waktu Tahan Terhadap Sifat Mekanik Dan Ketahanan Korosi Baja Tahan Karat Duplex S329," 2016, [Online]. Available: <https://repository.its.ac.id/74985/>
- [25] Junaidi and Irawan, "Analisa Pengujian Kekerasan Material Baja Karbon Rendah Dan Besi Menggunakan Metode Uji Brinell," vol. 07, pp. 57–61, 2019, [Online]. Available: <https://jurnal.harapan.ac.id/index.php/Jitekh/article/view/725>
- [26] M. Firman, F. Herlina, and M. Martadinata, "Analisa Kekerasan Baja ST 42 Dengan Perlakuan Panas Menggunakan Metode Taguchi," Krawang, 2016, [Online]. Available: <https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/JZR/article/view/460>
- [27] I. R. Ramadhani, "Analisa Kekerasan Baja St 42 Melalui Uji Jominy," Jan. 2024, doi: 10.31219/osf.io/g95yt.
- [28] D. Juliaptini, "Analisis Sifat Mekanik Dan Metalografi Baja Karbon Rendah Untuk Aplikasi Tabung Gas 3 KG," Jakarta, 2010, [Online]. Available: <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/3316>
- [29] Y. Tiandho, "Analisis Kuantitatif Pori Berdasarkan Pengolahan Citra Menggunakan Wolfram Mathematica," Klik - Kumpulan Jurnal Ilmu Komputer, vol. 4, no. 1, p. 15, Feb. 2017, doi: 10.20527/klik.v4i1.65.
- [30] F. A. Rizky, "Analisa Pengaruh Komposisi Elektroda Terhadap Mikrostruktur Dan Sifat Mekanik Pada Pengelasan FCD600 Dengan Metode SMAW," 2016, [Online]. Available: <https://repository.its.ac.id/71668/>