

**EFEK PROSES *QUENCHING* DAN *PARTITIONING*
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR
MIKRO PADA BAJA HSLA**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari
Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh:

Dwi Rahayu
3334200073

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON - BANTEN**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

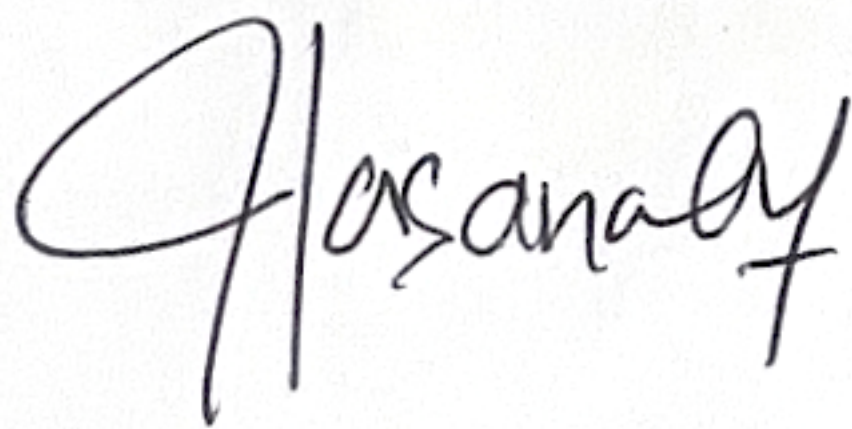
**EFEK PROSES *QUENCHING* DAN *PARTITIONING*
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR
MIKRO PADA BAJA HSLA**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari
Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh:

Pembimbing I



Dr. Indah Uswatun Hasanah, S.Si., M.T.
NIP. 199012142019032022

Pembimbing II



Prof. Dr. Eng Ir. A. Ali Alhamidi, S.T., M.T.
NIP. 197312131999031001

LEMBAR PERSETUJUAN

**EFEK PROSES *QUENCHING* DAN *PARTITIONING*
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR
MIKRO PADA BAJA HSLA**

SKRIPSI

Disusun dan diajukan oleh:

Dwi Rahayu

3334200073

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal

5 Mei 2025

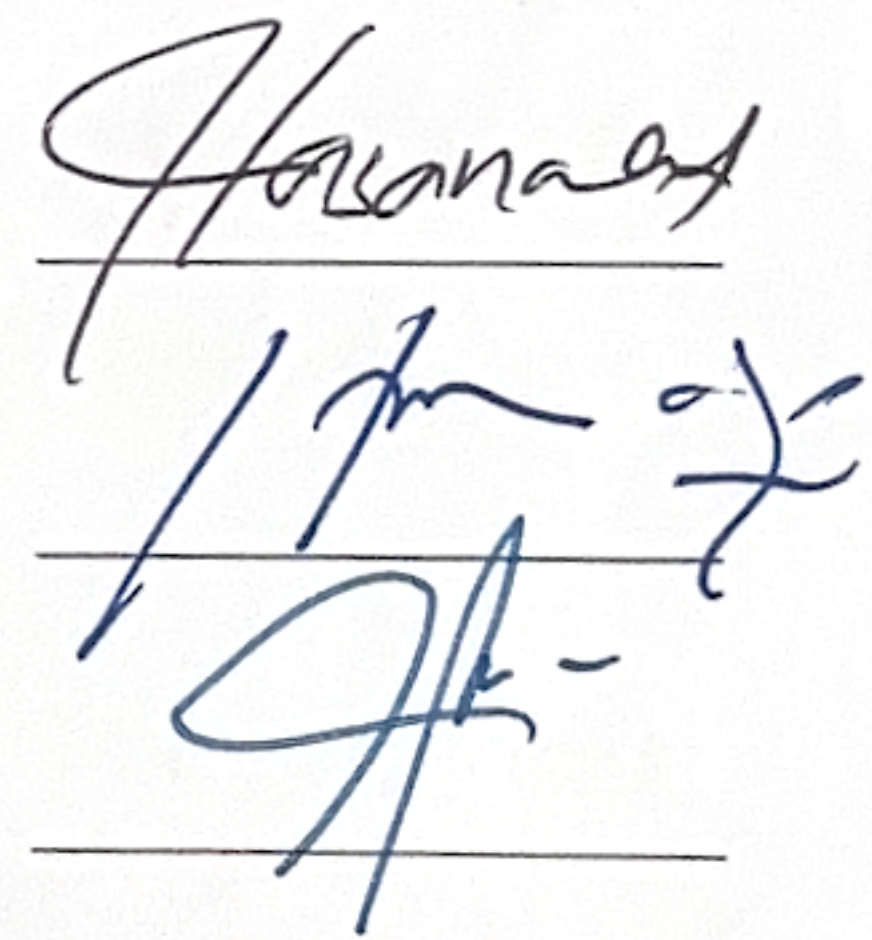
Susunan Dewan Penguji

Tanda Tangan

Penguji I : Dr. Indah Uswatun Hasanah, S.Si., M.T.

Penguji II : Prof. Dr.Eng Ir. A. Ali Alhamidi, S.T., M.T.

Penguji III : Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D.



Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 198003072005011002

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis skripsi berikut:

Judul : Efek Proses *Quenching* dan *Partitioning* terhadap Sifat
Mekanik dan Struktur Mikro pada Baja HSLA

Nama Mahasiswa : Dwi Rahayu

NIM : 3334200073

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukakarya saya, maka saya bersedia dituntut hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 14 Februari 2025


Dwi Rahayu
NIM. 3334200073

ABSTRAK

Baja AISI 4140 menjadi salah satu jenis baja HSLA yang banyak diaplikasikan dalam industri otomotif sebagai bahan baku pembuatan poros penggerak (*propeller shaft*). Kualitas baja AISI 4140 ditentukan oleh sifat mekaniknya yaitu harus memiliki kekerasan, kekuatan, dan ketangguhan yang baik sehingga meminimalisir kegagalan serta menunjang umur pakai dari poros penggerak tersebut. Guna meningkatkan sifat mekanik tersebut dapat direkayasa melalui proses perlakuan panas salah satunya adalah proses *quenching* dan *partitioning* yang bertujuan untuk mengontrol austenit sisa yang dihasilkan pada baja. Proses *quenching* dan *partitioning* dimulai dengan proses austenisasi pada temperatur 950°C lalu dilakukan *initial quenching* menggunakan oli selama 5 detik mencapai 200°C. Selanjutnya, dilakukan proses *partitioning* dengan memvariasikan temperatur yaitu 250°C, 325°C, dan 400°C serta waktu tahan selama 5, 10, dan 15 menit. Kemudian, dilakukan *final quenching* menggunakan air mencapai temperatur ruang. Sampel baja AISI 4140 hasil dari proses *quenching* dan *partitioning* dilakukan pengujian meliputi uji kekerasan, uji impak, dan pengamatan struktur mikro untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada struktur mikro dan sifat mekaniknya. Berdasarkan penelitian yang dilakukan menghasilkan bahwa semakin tinggi temperatur *partitioning* maka nilai kekerasan dan ketangguhan semakin meningkat. Lalu, semakin lama waktu *partitioning* maka nilai kekerasan menurun sedangkan nilai ketangguhan meningkat. Nilai kekerasan tertinggi sebesar 108,34 RHN pada temperatur *partitioning* 400°C selama 5 menit serta harga impak tertinggi sebesar 0,952 J/mm² pada temperatur *partitioning* 325°C selama 15 menit. Dengan demikian, hubungan antara kekerasan dan ketangguhan berbanding terbalik yaitu semakin tinggi kekerasan maka ketangguhan yang dihasilkan semakin rendah. Adapun struktur mikro sampel baja AISI 4140 pada kondisi tanpa proses *quenching* dan *partitioning* mengandung fasa ferit dan perlit mengalami perubahan setelah melewati proses *quenching* dan *partitioning* menghasilkan fasa akhir yang terdiri dari austenit sisa dan martensit.

Kata Kunci : Baja AISI 4140, Proses *Quenching* dan *Partitioning*, Kekerasan, Ketangguhan, Austenit sisa.

ABSTRACT

AISI 4140 steel is one type of HSLA steel that is widely applied in the automotive industry as a raw material for making propeller shafts. The quality of AISI 4140 steel is determined by its mechanical properties, namely it must have good hardness, strength, and toughness so as to minimize failure and support the service life of the propeller shaft. In order to improve these mechanical properties, it can be engineered through a heat treatment process, one of which is the quenching and partitioning process which aims to control the residual austenite produced in the steel. The quenching and partitioning process begins with the austenitization process at a temperature of 950°C then initial quenching is carried out using oil for 5 seconds reaching 200°C. Furthermore, the partitioning process is carried out by varying the temperature, namely 250°C, 325°C, and 400°C and holding times for 5, 10, and 15 minutes. Then, final quenching is carried out using water to reach room temperature. AISI 4140 steel samples resulting from the quenching and partitioning process were tested including hardness tests, impact tests, and microstructure observations to determine changes that occur in the microstructure and mechanical properties. Based on the research conducted, it was found that the higher the partitioning temperature, the higher the hardness and toughness values. Then, the longer the partitioning time, the lower the hardness value while the toughness value increases. The highest hardness value was 108.34 RHN at a partitioning temperature of 400°C for 5 minutes and the highest impact value was 0.952 J/mm² at a partitioning temperature of 325°C for 15 minutes. Thus, the relationship between hardness and toughness is inversely proportional, namely the higher the hardness, the lower the resulting toughness. The microstructure of the AISI 4140 steel sample in conditions without quenching and partitioning processes containing ferrite and pearlite phases underwent changes after going through the quenching and partitioning process resulting in a final phase consisting of residual austenite and martensite.

Keywords: AISI 4140 Steel, Quenching and Partitioning Process, Hardness, Toughness, Retained Austenite.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul **“Efek Proses *Quenching* dan *Partitioning* terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Baja HSLA”** dengan sebaik-baiknya. Laporan skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat mengerjakan tugas akhir pada program S1 di Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Selesaiannya proposal skripsi ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak, sehingga penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Metalurgi FT. UNTIRTA.
2. Ibu Andinnie Juniarsih, S.T., M.T. selaku Koordinator skripsi jurusan Teknik Metalurgi FT. UNTIRTA.
3. Ibu Dr. Indah Uswatun Hasanah, S.Si., M.T. selaku pembimbing I dan Bapak Prof. Dr.Eng Ir. A. Ali Alhamidi, S.T., M.T. selaku pembimbing II yang telah membimbing dengan memberikan masukan, kritik, dan motivasi membangun yang berguna bagi penulis dalam penyusunan laporan skripsi ini.
4. Keluarga terutama kedua orang tua penulis, yaitu Bapak Sugianto dan Ibu Darmiati yang selalu memberikan dukungan baik moral maupun moril kepada penulis dalam penyusunan laporan skripsi ini.
5. Auffa Naznabila selaku rekan penelitian yang telah banyak membantu penulis selama penelitian hingga penyusunan laporan skripsi ini.
6. Abrianti Luthvia, Endah Sukma Cahyani, Miftahul Jannah Ardani, Relsa Usva Munggaran, Rizal Amin, dan Afika Apriliana yang merupakan teman-teman penulis yang selalu memberikan semangat dan membantu penulis.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan laporan skripsi ini, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Harapan penulis semoga laporan skripsi ini dapat berguna sebagai

acuan penelitian bagi penulis dan bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa maupun pihak-pihak lain yang memerlukannya sebagai bahan kajian dan studi maupun sumber referensi. Atas perhatiannya, penulis ucapkan terimakasih.

Cilegon, 14 Februari 2025

Dwi Rahayu

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Baja High Strength <i>Low Alloy</i>	7
2.2 Baja AISI 4140	8
2.3 Perlakuan Panas.....	9
2.4 Proses <i>Quenching</i> dan <i>Partitioning</i>	13
2.5 Pengaruh Unsur Paduan Pada Baja	20
BAB III METODE PENELITIAN	24
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	24
3.2 Alat dan Bahan	25
3.3 Prosedur Penelitian	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Karakteristik Awal Material	31
4.2 Hasil Analisa Pengamatan Struktur Mikro	33

4.3 Hasil Analisa Pengujian Kekerasan.....	40
4.4 Hasil Analisa Pengujian Ketangguhan	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	56
5.1 Kesimpulan.....	56
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN A CONTOH PERHITUNGAN	62
LAMPIRAN B DATA PENELITIAN.....	67
LAMPIRAN C GAMBAR ALAT DAN BAHAN	72

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dalam industri otomotif menjadi faktor yang mempengaruhi penggunaan material dengan sifat mekanik yang baik pada setiap bagian komponennya sehingga akan menunjang umur pakai dari komponen tersebut. Salah satu komponen utama sebagai penggerak mobil adalah poros penggerak atau *propeller shaft*. Poros penggerak bekerja dengan cara menyalurkan energi dari mesin induk sehingga roda mobil dapat berputar. Energi yang diterima oleh poros penggerak akan mengalami pengaruh gaya eksternal seperti beban tekan, tegangan, beban lentur, atau kombinasi dari gaya tersebut secara berlebihan dan berulang-ulang menyebabkan kegagalan atau deformasi bentuk pada poros sehingga mengurangi umur pakai dari poros penggerak [1]. Kegagalan tersebut akan mengganggu kinerja kendaraan dan membahayakan pengendara sehingga harus diminimalisir terjadinya kegagalan pada poros penggerak. Pada penggunaan aplikasi tersebut memerlukan baja dengan kombinasi sifat ketangguhan dan kekerasan tinggi. Selain itu, bobot komponen pun perlu diperhatikan karena pada industri otomotif penggunaan komponen terutama poros penggerak dengan bobot yang berat harus dihindarkan [2]. Dengan demikian, pemilihan material yang tepat menjadi faktor utama dalam memproduksi poros penggerak mobil karena dibutuhkan material dengan sifat mekanik yang unggul serta biaya produksi yang rendah harus dipertimbangkan.

Pada umumnya, kendaraan mobil dengan konfigurasi mesin depan dan penggerak roda belakang atau *Rear Wheel Drive* (RWD) menggunakan *propeller shaft* bermaterial baja S45C yang memiliki sifat mekanik berupa kekerasan sebesar 649 VHN dan ketangguhan sebesar 39 Joule. Kini, material dalam industri otomotif banyak menggunakan baja HSLA atau *High Strength Low Alloy* karena menawarkan sifat mekanik yang unggul berupa kekuatan, ketangguhan, ketahanan korosi, dan *weldability*. Sifat mekanik tersebut diperoleh dari unsur-unsur paduan dalam jumlah rendah seperti karbon, vanadium, mangan, dan titanium. Penggunaan unsur paduan yang rendah membuat baja HSLA membutuhkan biaya yang rendah dalam produksinya [3]. Salah satu jenis baja HSLA yang banyak penggunaannya dalam aplikasi struktural maupun otomotif yaitu baja AISI 4140. Pada umumnya baja AISI 4140 yang mendapatkan perlakuan panas menjadi material bahan baku pembuatan poros engkol (*crankshaft*), rangka pesawat, dan mur karena tanpa perlakuan panas pada baja AISI 4140 memiliki sifat ketangguhan yang rendah [4].

Dalam upaya untuk meningkatkan sifat mekanik yang sudah dimiliki oleh baja AISI 4140 dapat dilakukan suatu proses yaitu perlakuan panas atau *heat treatment*. Perlakuan panas merupakan suatu proses pengerjaan panas pada logam dengan kombinasi proses berupa pemanasan, penahanan temperatur, dan pendinginan bertujuan untuk mengubah struktur internal logam sehingga meningkatkan sifat mekanik. Terdapat salah satu proses perlakuan panas yang inovatif guna menurunkan bobot komponen mobil namun dapat memperbaiki sifat mekanik sehingga tingkat keamanan pengendara meningkat yaitu proses

quenching dan *partitioning*. Proses *quenching* dan *partitioning* merupakan proses perlakuan panas yang dilakukan dengan proses *quenching* diantara temperatur *martensite start* dan *martensite finish* kemudian diikuti proses *partitioning* sehingga diperoleh struktur mikro berupa martensit dan austenit sisa. Menurut penelitian, proses *quenching* dan *partitioning* pada baja dapat meningkatkan sifat mekaniknya. Penelitian tersebut telah dibuktikan oleh Zhou, W et al. pada tahun 2016 yang menggunakan material *low alloy* untuk meningkatkan sifat mekanik berupa ketangguhan, keuletan, dan kekerasannya dengan memvariasikan temperatur *quenching*, temperatur *partitioning*, dan waktu *partitioning* sehingga terjadi peningkatan sifat mekanik yang optimum yaitu nilai energi impak sebesar 24 Joule pada temperatur *quenching* 200°C, temperatur *partitioning* 300°C, dan waktu *partitioning* 5 menit. Lalu, nilai kekuatan tarik optimum sebesar 1730 MPa pada temperatur *quenching* 150°C, temperatur *partitioning* 350°C, dan waktu *partitioning* 30 menit. Sedangkan, nilai kekerasan yang optimum sebesar 51,8 HRC pada temperatur *quenching* 100°C, temperatur *partitioning* 350°C, dan waktu *partitioning* 5 menit [5]. Dengan demikian, pada penelitian ini akan dilakukan proses *quenching* dan *partitioning* dengan tujuan untuk meningkatkan sifat mekanik berupa kombinasi sifat kekerasan dan ketangguhan pada baja AISI 4140.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi waktu *partitioning* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada baja AISI 4140?
2. Bagaimana pengaruh variasi temperatur *partitioning* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada baja AISI 4140?
3. Bagaimana pengaruh proses *quenching* dan *partitioning* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada baja AISI 4140?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini secara umum adalah untuk mengetahui proses *quenching* dan *partitioning* yang optimal pada baja AISI 4140, sedangkan tujuan penelitian ini secara khusus adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi waktu *partitioning* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada baja AISI 4140.
2. Menganalisis pengaruh variasi temperatur *partitioning* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada baja AISI 4140.
3. Menganalisis pengaruh proses *quenching* dan *partitioning* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada baja AISI 4140.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material digunakan adalah baja AISI 4140.
2. Proses perlakuan panas yang dilakukan adalah proses *quenching* dan *partitioning*.

3. Proses austenisasi dilakukan pada temperatur 950°C selama 1 jam
4. Proses *quenching* dilakukan mencapai temperatur 200°C dengan media pendingin yaitu oli selama 5 detik.
5. Proses *partitioning* digunakan dengan variabel bebas sebagai berikut:
 - a. Temperatur *partitioning* 250°C, 325°C, dan 400°C.
 - b. Waktu *partitioning* 5, 10, dan 15 menit.
6. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kekerasan, pengujian impak, dan pengamatan struktur mikro.
7. Penelitian dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini terdiri dari lima bab. Bab I berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan. Bab II berisi tinjauan pustaka yang menjelaskan teori-teori dasar yang mendukung berlangsungnya penelitian ini dan sebagai acuan dalam analisa dan pembahasan pada hasil penelitian. Bab III berisi penjelasan mengenai metode penelitian yang terdiri dari diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, serta prosedur penelitian. Bab IV berisi hasil penelitian dan pembahasan berdasarkan data-data yang telah diperoleh serta analisis untuk mencapai tujuan yang diharapkan dari penelitian. Bab V berisi kesimpulan dan saran peneliti untuk penelitian selanjutnya. Laporan penelitian ini juga memuat daftar pustaka yang berisi literatur-literatur yang digunakan peneliti

sebagai dasar teori dan pendukung data-data hasil penelitian serta terdapat lampiran yang berisi contoh perhitungan, gambar alat dan bahan yang digunakan pada penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. H. Zhao, Q. K. Xing, J. Y. Wang, S. L. Li, and S. L. Zheng, "Failure and root cause analysis of vehicle drive shaft" *Eng. Fail. Anal.*, vol. 99, no. July 2017, pp. 225–234, 2019, doi: 10.1016/j.engfailanal.2019.02.025.
- [2] Z. Hu, X. Gu, R. Liu, and L. Lin, "Effect of different microstructural design on properties for quenching and partitioning steel with tensile strength of 980MPa" *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2368, no. 1, 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2368/1/012020.
- [3] X. Li, L. Shi, Y. Liu, K. Gan, and C. Liu, "Achieving a desirable combination of mechanical properties in HSLA steel through step quenching" *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 772, no. October, p. 138683, 2020, doi: 10.1016/j.msea.2019.138683.
- [4] M. M. Bilal *et al.*, "Effect of austempering conditions on the microstructure and mechanical properties of AISI 4340 and AISI 4140 steels" *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 8, no. 6, pp. 5194–5200, 2019, doi: 10.1016/j.jmrt.2019.08.042.
- [5] W. Zhou, Y. Sun, Q. Wang, and L. Ding, "Effect of quenching and partitioning process to low-alloy wear resistant steel" *J. Mater. Res.*, vol. 31, no. 5, pp. 663–669, 2016, doi: 10.1557/jmr.2016.58.
- [6] M. Attributes, "Material Attributes" *Prim. Flat Roll. Second Ed.*, pp. 163–191, 2014, doi: 10.1016/B978-0-08-099418-5.00008-1.
- [7] R. Steadman, *Materials science*, vol. 5, no. 2. 1970.
- [8] L. Lv, L. Fu, S. Ahmad, and A. Shan, "Effect of heavy warm rolling on microstructures and mechanical properties of AISI 4140 steel," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 704, pp. 469–479, 2017, doi: 10.1016/j.msea.2017.07.089.
- [9] M. K. Banerjee, *Fundamentals of Heat Treating Metals and Alloys*, vol. 2–3. Elsevier Ltd., 2017.
- [10] R. Saputra and E. Tyastomo, "Perbandingan Kekerasan Dan Struktur Mikro Pegas Daun Yang Mengalami Proses Heat Treatment" *Bina Tek.*, vol. 12, no. 2, p. 185, 2017, doi: 10.54378/bt.v12i2.72.
- [11] "Rohmat, Y. N., Endramawan, T., Haris, E., Basori, I., Susetyo, F. B., & Ilmihaqie, D. N. (2022). Analisa Proses Carburizing Baja AISI 4140 terhadap Sifat Mekanik dan Mikrostruktur. In Prosiding Seminar Nasional Terapan Riset.pdf."
- [12] M. Melih Tecer, "Effects of Various Heat Treatment Procedures on the

- Toughness of Aisi 4140 Low Alloy Steel” *Int. J. Mater. Eng. Technol.*, vol. 003, pp. 131–149, 2020, [Online]. Available: <http://dergipark.gov.tr/tijmet>.
- [13] X. Huang *et al.*, “Study on time-temperature-transformation diagrams of stainless steel using machine-learning approach” *Comput. Mater. Sci.*, vol. 171, no. September 2019, p. 109282, 2020, doi: 10.1016/j.commatsci.2019.109282.
- [14] Y. AL, N. EA, S. LF, and B. EA, “Annealing and Normalizing of AISI 1045 Steel: A Lamellae Analysis” *Int. J. Metall. Met. Phys.*, vol. 5, no. 2, 2020, doi: 10.35840/2631-5076/9253.
- [15] A. Inam, M. Ishtiaq, M. A. Hafeez, M. H. Hassan, A. Hafeez, and Nawaz, “Quenching and Partitioning of AISI 4340 steel” *J. Fac. Eng. Technol.*, vol. 24(2), no. April, pp. 47–56, 2020, [Online]. Available: <http://journals.pu.edu.pk/journals/index.php/jfet/article/view/1128>.
- [16] M. Masoumi, E. A. A. Echeverri, A. P. Tschiptschin, and H. Goldenstein, “Improvement of wear resistance in a pearlitic rail steel via quenching and partitioning processing” *Sci. Rep.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–13, 2019, doi: 10.1038/s41598-019-43623-7.
- [17] W. Bleck, X. Guo, and Y. Ma, “The TRIP Effect and Its Application in Cold Formable Sheet Steels” *Steel Res. Int.*, vol. 88, no. 10, pp. 35–45, 2017, doi: 10.1002/srin.201700218.
- [18] M. Thomä and G. Wagner, “Effect of quenching and partitioning heat treatment on the fatigue behavior of 42SiCr Steel” *Metals* 11, no.11, 2021.
- [19] A. Alhamidi, “Proses Quenching and Partitioning Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon Medium,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 15, no. 2, p. 118, 2020, doi: 10.32497/jrm.v15i2.1869.
- [20] P. K. Kantanen, V. Javaheri, M. C. Somani, D. A. Porter, and J. I. Kömi, “Effect of deformation and grain size on austenite decomposition during quenching and partitioning of (high) silicon-aluminum steels” *Mater. Charact.*, vol. 171, 2021, doi: 10.1016/j.matchar.2020.110793.
- [21] R. N. Penha, Y. Francisco, and S. Marins, “Quenching and partitioning heat treatment : the third generation of advanced high- strength steel Tratamento térmico de têmpera e partição : terceira geração dos aços avançados de alta resistência Tratamiento térmico de temple y partición : tercera genera” vol. 2022, pp. 1–10, 2022.
- [22] J. G. Speer, A. M. Streicher, D. K. Matlock, F. Rizzo, and G. Krauss, “Quenching and partitioning: A fundamentally new process to create high strength trip sheet microstructures” *Mater. Sci. Technol. 2003 Meet.*, pp.

505–522, 2003.

- [23] M. Belfi *et al.*, “On the Strain Hardening and Tensile Properties of AISI 4140 Steel via Single-Step Quenching and Partitioning Treatments” *Steel Res. Int.*, vol. 2400513, 2024, doi: 10.1002/srin.202400513.
- [24] J. Wang and S. V. A. N. D. E. R. Zwaag, “Stabilization Mechanisms of Retained Austenite in Transformation-Induced Plasticity Steel” vol. 32, no. June, pp. 1527–1539, 2001.
- [25] C. Celada-Casero, C. Kwakernaak, J. Sietsma, and M. J. Santofimia, “The influence of the austenite grain size on the microstructural development during quenching and partitioning processing of a low-carbon steel” *Mater. Des.*, vol. 178, 2019, doi: 10.1016/j.matdes.2019.107847.
- [26] K. Ren, Y. Kang, and S. Zhu, “Effect of partitioning time on the microstructure and mechanical properties of Q&P steels” *Mater. Sci. Forum*, vol. 749, pp. 303–307, 2013, doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.749.303.
- [27] G. Luo, H. Li, Y. Li, and J. Mo, “Microstructures and properties of a low-carbon-chromium ferritic stainless steel treated by a quenching and partitioning process”, *Materials* 12, no. 10, 2019.
- [28] E. Tkachev, S. Borisov, Y. Borisova, T. Kniaziuk, and R. Kaibyshev, “Relationships between Strength, Ductility and Fracture Toughness in a 0.33C Steel after Quenching and Partitioning (Q&P) Treatment,” *Crystals*, vol. 13, no. 10, 2023, doi: 10.3390/cryst13101431.
- [29] E. Paravicini Bagliani, M. J. Santofimia, L. Zhao, J. Sietsma, and E. Anelli, “Microstructure, tensile and toughness properties after quenching and partitioning treatments of a medium-carbon steel,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 559, pp. 486–495, 2013, doi: 10.1016/j.msea.2012.08.130.
- [30] A. Almasi, A. Kianvash, and A. Tutunchi, “Effects of Partitioning Time and Temperature on the Microstructure and Mechanical Properties of a High Strength Microalloyed Steel,” *Metallogr. Microstruct. Anal.*, vol. 10, no. 4, pp. 525–533, 2021, doi: 10.1007/s13632-021-00762-6.
- [31] C. Jing, D. Ye, J. Zhao, T. Lin, C. Wu, and Q. Lei, “Effect of hot stamping and quenching & partitioning process on microstructure and mechanical properties of ultra-high strength steel,” *Mater. Res. Express*, vol. 8, no. 3, p. 36506, 2021, doi: 10.1088/2053-1591/abe976.
- [32] Z. R. Hou and X. M. Zhao, “Enhanced Stability of Retained Austenite by Quenching and Double Partitioning Process,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 281, no. 1, 2017, doi: 10.1088/1757-899X/281/1/012037.

- [33] S. Sunarno and Z. Zainuddin, “Impact Test Analysis on Steel Metal Materials and Aluminum,” *J. Soc. Res.*, vol. 2, no. 7, pp. 2378–2392, 2023, doi: 10.55324/josr.v2i7.1198.