

Pengaruh Variasi Temperatur Tempering Terhadap Struktur Mikro Dan Struktur Kristal Pada Baja Karbon Sebagai Bahan Mandrill

Yulius Nanang¹, Budiarto², Ikhrar Damai Tullah³

¹Program Studi Teknik Mesin Industri, Politeknik Industri ATMI Cikarang, Bekasi

^{2,3}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Kristen Indonesia

¹yulius@polinatmi.ac.id ²budidamaz@gmail.com

Abstract

This writing begins with a mandrill that cannot be modified in a company, so the author wants to know the crystal structure and microstructure of the steel, as well as explain the composition contained in the steel being tested. Tests were carried out by observing the crystal structure using an X-Ray Diffractometer (XRD), observing the microstructure and material composition using Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX). The results show that the crystal structure and microstructure are strongly influenced by the quenching and tempering processes. The increase in crystal size occurred after the tempering process at 425° C from 34.33 nm to 52.31 nm. There was a decrease in dislocation density after tempering at 425° C from 0.00085 lines/mm² to 0.00085 lines/mm². Likewise, the micro strain after the tempering process at 425°C decreased from 0.25 (ε) to 0.19 (ε). The test material has several compositions such as iron (Fe), oxygen (O), manganese (Mn), sodium (Na), chromium (Cr), calcium (Ca) and carbon (C). Microstructure testing showed a decrease in iron Fe atoms after the tempering process from 65.79% to 42.96%, a decrease in atoms also occurred in manganese from 0.51% to 0.34% after the tempering process. There was an increase in oxygen atoms after the tempering process from 33.31% to 54.23%, an increase in the atomic presentation also occurred in sodium (Na) from 0.33% to 2.46% after the tempering process.

Keywords: Steel; Tempering; Quenching; Crystal Structure; Microstructure

Abstrak

Penulisan ini berawal dari mandrill yang tidak dapat dimodifikasi pada suatu perusahaan sehingga dapat diketahui struktur kristal dan struktur mikro pada baja tersebut, serta menjelaskan komposisi yang terdapat pada baja bahan uji. Pengujian dilakukan dengan pengamatan struktur kristal menggunakan Difraktometer Sinar-X (XRD), pengamatan struktur mikro dan komposisi material menggunakan *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX). Hasil menunjukkan bahwa struktur kristal dan struktur mikro sangat dipengaruhi oleh proses *quenching* maupun *tempering*. Kenaikan ukuran kristal terjadi setelah proses tempering dengan suhu 425°C dari 34,33 nm menjadi 52,31 nm. Terjadi penurunan kerapatan dislokasi setelah proses tempering dengan suhu 425°C dari 0,00085 garis/mm² menjadi 0,00085 garis/mm². Begitu pula pada regangan mikro setelah proses *tempering* dengan suhu 425° C terjadi penurunan dari 0,25 (ε) menjadi 0,19 (ε). Pada material uji memiliki beberapa komposisi seperti *iron* (Fe), *oxygen* (O), *manganese* (Mn), *sodium* (Na), *chromium* (Cr), *calcium* (Ca) dan *carbon* (C). Pengujian struktur mikro terjadi penurunan dari atom *iron* setelah proses *tempering* dari 65,79% menjadi 42,96%, penurunan atom juga terjadi pada mangan dari 0,51% menjadi 0,34% setelah proses *tempering*. Terjadi peningkatan atom pada oxygen setelah proses tempering dari 33,31% menjadi 54,23%, peningkatan presentasi atom juga terjadi pada sodium dari 0,33% menjadi 2,46% setelah proses *tempering*. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan terjadi bertambahnya kerapatan dislokasi dipengaruhi bertambahnya temperatur yang menjadikan tegangan sisa menjadi naik.

Kata kunci: baja, *tempering*, *quenching*, struktur kristal, struktur mikro

1. Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan dunia industri yang semakin maju, mendorong para pelaku dunia industri untuk meningkatkan kebutuhan penggunaan dari hasil pengerasan baja yang dibutuhkan konsumen.

Perkembangan teknologi terutama dalam pengerasan baja mengalami kemajuan yang sangat pesat. Baja karbon merupakan baja struktur yang sering digunakan untuk keperluan konstruksi maupun untuk pembuatan komponen-komponen mesin-mesin. Baja

karbon ini merupakan paduan dari beberapa unsur dengan tujuan untuk mendapatkan sifat-sifat mekanis yang sesuai dengan tujuan penggunaannya. Baja merupakan paduan yang terdiri dari unsur utama besi (Fe) dan karbon (C), serta unsur-unsur lain seperti, Mn, Si, Ni, Cr, V dan lain sebagainya yang tersusun dengan jumlah yang sangat kecil dan unsur-unsur tersebut yang akan mempengaruhi mutu dari baja itu sendiri [1]. Baja karbon dengan unsur paduan lain membentuk karbida yang dapat menambah kekerasan, tahanan gores dan tahanan temperatur.

Baja memiliki kekerasan yang tinggi sehingga cocok untuk komponen yang membutuhkan kekerasan, keuletan, maupun ketahanan terhadap gesekan. Upaya untuk menjaga agar baja lebih tahan gesekan atau tekanan adalah dengan cara perlakuan panas pada baja agar dapat meningkatkan kekerasan baja sesuai kebutuhan [2]. Proses ini meliputi pemanasan baja pada suhu tertentu, dipertahankan pada waktu tertentu dan didinginkan pada media tertentu. Perlakuan panas bertujuan untuk homogenisasi struktur mikro, meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal, menghaluskan butir kristal, meningkatkan kekerasan, meningkatkan tegangan tarik logam dan lain sebagainya. Tujuan tersebut akan diperoleh apabila memperhatikan faktor yang mempengaruhinya, seperti suhu pemanasan, lamanya waktu tahan pada temperatur pemanasan, laju pendinginan dan media pendingin yang digunakan. Salah satu proses perlakuan panas yang dapat diterapkan pada baja adalah pengerasan atau hardening, yaitu proses pemanasan baja sampai suhu di daerah atau di atas daerah kritis disusul dengan pendinginan yang cepat dinamakan quench, [3].

Salah satu industri yang memanfaatkan penggunaan karbon baja yaitu industri di bidang AHU (Air Handling Unit). Pada sistem AHU (Air Handling Unit) terdapat penggunaan mesin expand yang sangatlah penting untuk menunjang proses produksi tepatnya dalam pembuatan coil. Mesin ini digunakan untuk melakukan proses produksi pembuatan coil pada unit AHU. Mesin expand berfungsi untuk memperbesar D (diameter luar) pipa berbahan kuningan melalui d (diameter dalam) pipa. Proses memperbesar D (diameter luar) pipa untuk membuat agar partisi-partisi komponen coil tidak bergerak. Proses memperbesar ini didukung dengan ballet sebagai part yang memperbesar D (diameter luar) pipa dan mandrill sebagai part untuk menjangkau panjang pipa. Mandrill yang tersedia saat ini hanya memiliki panjang 3 meter, sedangkan kebutuhan produksi coil membutuhkan panjang pipa sampai 7 meter. Permasalahan yang terjadi adalah pada saat proses modifikasi mandrill dengan pembuatan ulir dalam dan ulir luar pada setiap ujung mandrill agar mandrill dapat disambung namun, proses modifikasi tidak dapat dilakukan. Kendala yang dialami pada proses modifikasi adalah pada saat pembuatan ulir dalam, *twist drill* yang digunakan hancur ketika diberikan

depth of cut pada mandrill. Begitupun terjadi pada proses pembuatan ulir luar ketika diberi *depth of cut*, cutter metris yang digunakan juga hancur. Berdasarkan latar belakang permasalahan yang ditemukan, pada tugas akhir ini akan dilakukan penelitian terhadap bahan baja karbon mandrill. Penelitian yang dilakukan adalah dengan melakukan pengujian komposisi bahan mandrill, pengujian sifat mekanik bahan mandrill dan pengujian struktur kristal bahan mandrill dengan menggunakan metode perlakuan panas quenching berdasarkan variabel temperatur dan waktu tertentu. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui jenis baja karbon bahan mandrill, sifat mekanik baja karbon bahan mandrill serta struktur kristal yang terdapat pada bahan mandrill.

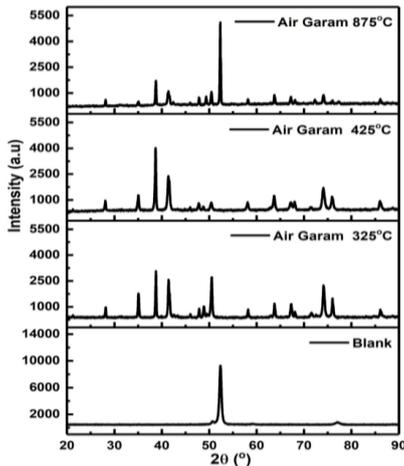
2. Metode Penelitian

Pelaksanaan awal dengan pembuatan sampel yang diperoleh di perusahaan manufaktur lalu dilakukan pemotongan material. Sampel dibawa ke laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia, Jakarta untuk melakukan *quenching* dan *tempering*. *Quenching* dilaksanakan pada temperatur 875°C dengan waktu penahanan 1 jam. Media pendingin air. Air yang digunakan adalah air yang telah disediakan, untuk media pendingin oli digunakan oli SAE 20W-50, dan untuk media pendingin air garam dengan melarutkan garam dapur pada air yang tersedia sampai jenuh. Setelah temperatur mencapai 875°C dan dilakukan penahanan selama 1 jam, material diambil dari dalam *furnace* menggunakan penjepit. Lalu material uji didinginkan menggunakan 3 media pendingin (*quenching*) yaitu air, oli dan air garam. Temperatur media pendingin yaitu temperatur ruangan. Setelah material uji suhunya telah normal kembali, maka proses *tempering* dilaksanakan pada temperatur 325°C dan 425°C waktu penahanan selama 1 jam. Setelah selesai pendinginannya hanya melalui udara. Fasilitas *heat treatment* yang digunakan adalah tungku listrik dengan temperatur maksimal 1000°C. Selanjutnya spesimen dibawa ke labor Universitas Indonesia dan puslafor polri untuk mengetahui struktur kristal dengan metode XRD dan struktur mikro dengan metode SEM

3. Hasil dan Pembahasan

Data yang diperoleh dari hasil pengujian terhadap spesimen uji sifat mekanik adalah berupa difraktogram yang dapat dianalisa datanya dari tabel yang menjelaskan tentang gambar hasil dari difraktogram uji spesimen. Tabel tersebut berisikan ukuran kristal, kerapatan dislokasi dan regangan kisi mikro proses *tempering* dari material baja karbon dengan menggunakan metode difraksi sinar-X (XRD). Data gambar adalah difraktogram dari uji mekanis pada spesimen uji untuk mengetahui ukuran kristal, kerapatan dislokasi dan regangan kisi mikro.

Kemudian diikuti tabel yang menjelaskan hasil olah data dari difraktogram.



Gambar 1. Difraktogram Sinar-X Dari Material Baja Proses Hardening Dan Tempering

Tabel 1. Data Hasil Uji XRD Baja Karbon Tanpa Perlakuan

No	Pos. (2θ)	FWHM	Ukuran	Kerapatan Dislokasi	Regangan
		β (rad)	Kristal (nm)	(garis/mm ²)	Kisi
1	52.33	0.49	34.33	0.00085	0.25

Tabel 2. Data Hasil Uji XRD Baja Karbon, Quenching Temperatur 875°C, Waktu Penahanan 1 Jam

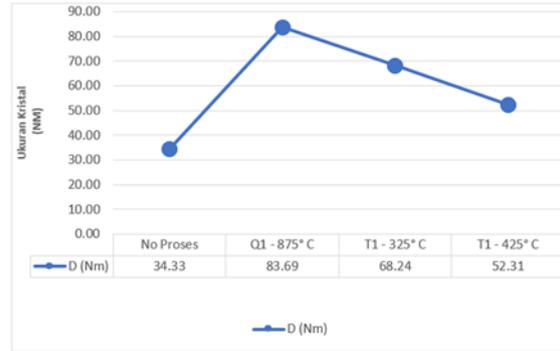
No	Pos. (2θ)	FWHM	Ukuran	Kerapatan Dislokasi	Regangan
		β (rad)	Kristal (nm)	(garis/mm ²)	Kisi
1	52.33	0.166	101.33	0.00010	0.08
2	38.74	0.18	89.91	0.00	0.13
3	41.40	0.33	48.91	0.00042	0.22
4	50.46	0.22	75.52	0.00	0.12
5	63.74	0.173	102.76	0.00009	0.07
Rata – rata			83.69	0.00018	0.12

Tabel 3. Data Hasil Uji XRD Baja Karbon, Tempering Temperatur 325°C, Waktu Penahanan 1 Jam

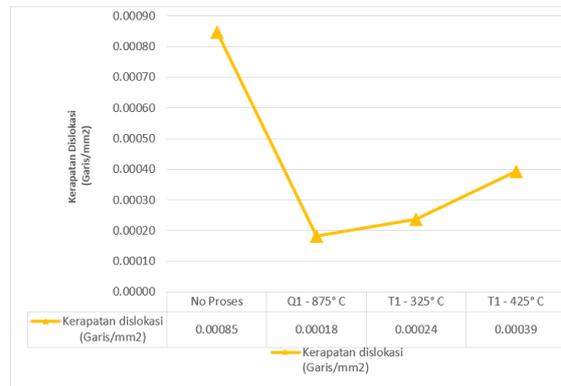
No	Pos. (2θ)	FWHM	Ukuran	Kerapatan Dislokasi	Regangan
		β (rad)	Kristal (nm)	(garis/mm ²)	Kisi
1	38.77	0.18	90.94	0.00012	0.13
2	50.524	0.26	64.21	0.00024	0.14
3	41.42	0.25	64.56	0.00024	0.17
4	74.10	0.37	51.13	0.00038	0.12
5	35.09	0.23	70.38	0.00020	0.18
Rata – rata			68.24	0.000238	0.15

Tabel 4. Data Hasil Uji XRD Baja Karbon, Tempering Temperatur 425°C, Waktu Penahanan 1 Jam

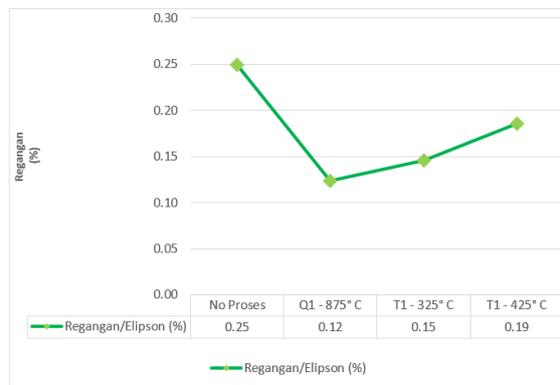
No	Pos. (2θ)	FWHM	Ukuran	Kerapatan Dislokasi	Regangan
		β (rad)	Kristal (nm)	(garis/mm ²)	Kisi
1	38.68	0.23	68.97	0.00021	0.17
2	41.37	0.37	43.62	0.00053	0.24
3	74.00	0.42	45.01	0.00049	0.14
4	35.03	0.30	52.42	0.00036	0.24
5	63.67	0.35	51.51	0.00038	0.14
Rata – rata			52.31	0.00039	0.19



Gambar 2. Grafik Perbandingan Perubahan Ukuran Kristal



Gambar 3. Grafik Perbandingan Kerapatan Dislokasi



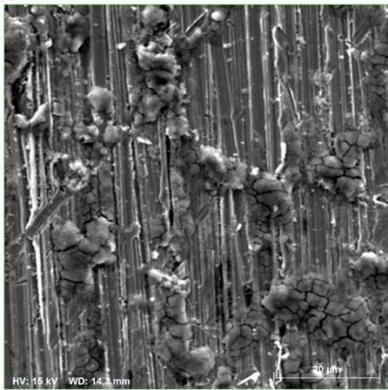
Gambar 4. Grafik Perbandingan Perubahan Regangan Kisi

Hasil difraktogram sinar-X ditunjukkan pada Gambar 1 terlihat beberapa puncak intensity dari perubahan suhu. Puncak tersebut diringkas pada Tabel 1 sampai 3 untuk diambil rata-rata dari ukuran, kerapatan dislokasi dan regangan yang terlihat pada hasil difraktogram sinar-X

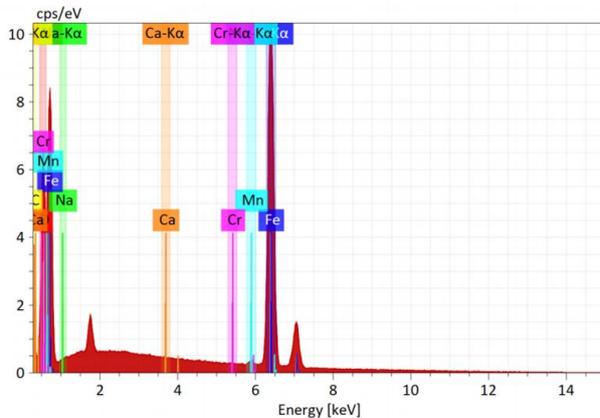
Pada Gambar grafik 2 sampai 4 menunjukkan grafik bahwa peningkatan waktu penahanan pada perlakuan panas tempering mengakibatkan kelonggaran puncak difraksi, dimana ditandai dengan kenaikan nilai FWHM. Budiarto (2021) menyatakan bahwa hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin lama waktu penahanan mengakibatkan semakin kecil kerapatan dislokasinya. Kerapatan dislokasi dan regangan kisi yang semakin kecil mengakibatkan turunnya tegangan sisa dan menyebabkan cacat garis yang semakin sedikit [4,6,7].

Data yang diperoleh dari hasil pengujian *scanning electron microscope* (SEM) terhadap spesimen uji berupa *micrograph* yang dapat dianalisa datanya dari warna yang menjelaskan tentang gambar hasil dari *micrograph* uji spesimen. Kemudian terdapat tabel yang berisikan komposisi dari material baja karbon dengan menggunakan metode *energy dispersive x-ray* (EDX). Data gambar adalah *micrograph* dari uji SEM pada spesimen uji untuk mengetahui struktur mikro. Kemudian diikuti tabel yang menjelaskan komposisi dari *micrograph*. Data hasil uji dibuat menjadi 3 bagian yaitu:

- a. Hasil pengujian pada spesimen asli (spesimen uji tidak dilakukan proses apapun) dengan perbesaran 2000× dapat dilihat pada Gambar 5, dan gambar 6.

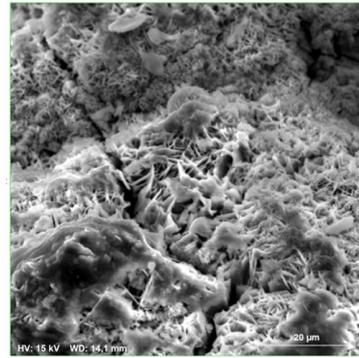


Gambar 5. Micrograph Spesimen Asli Dengan Perbesaran 2000×

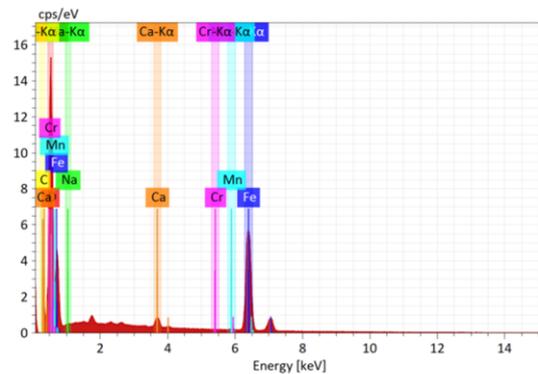


Gambar 6. EDX Spectrum Spesimen Asli

- b. Hasil pengujian setelah proses *quenching* dengan suhu 875°C, waktu penahanan 1 jam dengan perbesaran 2000× seperti pada Gambar 7 dan 8.

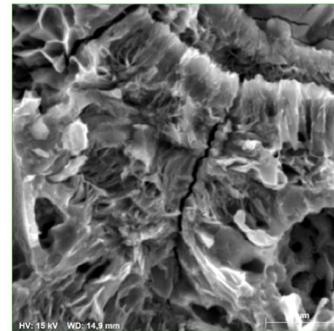


Gambar 7. Micrograph Spesimen *Quenching* Pada Suhu 875°C Dan Waktu Penahanan 1 Jam Dengan Perbesaran 2000×

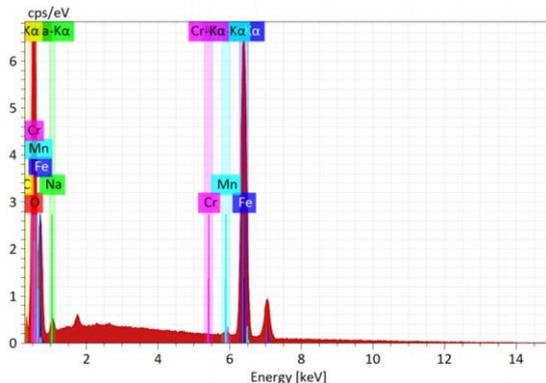


Gambar 8. EDX Spectrum Spesimen *Quenching* Dalam suhu 875°C Dengan Waktu Penahanan 1 Jam

- c. Hasil pengujian setelah proses *tempering* dengan suhu 325°C, waktu penahanan 1 jam dengan perbesaran 2000× seperti dapat dilihat pada Gambar 9 dan 10.



Gambar 9. Micrograph Spesimen *Tempering* Pada Suhu 325°C Dan Waktu Penahanan 1 Jam Dengan Perbesaran 2000×



Gambar 10. EDX Spectrum Spesimen Tempering Dalam suhu 325°C Dengan Waktu Penahanan 1 Jam

Tabel 5 Hasil Uji EDX

Elemen	Atom (%)		
	Spesimen Asli	Q1-1 Jam	T1-1 Jam
Iron	65.79	29.28	42.96
Oxygen	33.31	69.06	54.23
Manganese	0.51	0.18	0.34
Sodium	0.33	0.26	2.46
Chromium	0.04	0.00	0.00
Calcium	0.02	1.22	-
Carbon	0.00	0.00	0.00

Berdasarkan hasil dari pengujian SEM/EDX yang terlihat pada gambar 5 warna hitam dominan dan struktur lebih padat dan menyatu. Pada gambar 7 warna putih mulai terlihat dan terlihat serabut sedangkan gambar 9 warna hitam dan putih dengan serabut ikatan menyatu dan berukuran lebih besar dari sebelumnya. Perubahan fasa tersebut sangat terlihat berawal dari sementit dan martensite sebagaimana tercantum pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa struktur mikro dari spesimen uji sebelum ataupun sesudah diberikan perlakuan panas memiliki komposisi atom terbesar yaitu *iron* (Fe) dan *oxygen* (O). Atom *iron* (Fe) sebelum diberikan perlakuan panas memiliki presentase sebesar 65,79% dan atom *oxygen* memiliki presentase sebesar 33,31% dilihat dari hasil uji EDX dan keadaan struktur mikro pada uji SEM. Namun, presentase atom *iron* (Fe) mengalami penurunan menjadi 29,28% setelah diberikan perlakuan panas *quenching*. Berbanding terbalik dengan atom *oxygen* (O) setelah diberikan perlakuan panas *quenching* presentasinya naik menjadi 69,06%. Kemudian setelah diberikan perlakuan panas *tempering* presentase atom *iron* (Fe) kembali naik menjadi 42,96% dan presentase atom *oxygen* (O) turun menjadi 54,23%. Sedangkan komposisi pendukungnya seperti *manganese* dan *sodium* mengalami penurunan presentase setelah melalui proses *quenching*, kemudian presentase atom *manganese* dan *sodium* kembali mengalami kenaikan setelah melalui proses *tempering* dengan waktu penahanan 1 jam.

Oki, dkk (2021) menyatakan bahwa presentase atom baja dengan jumlah terbesar adalah *iron* (Fe) dan *oxygen* (O). Sementara presentase atom paduan tertinggi terbaca pada EDX adalah *manganese* (Mn) disusul dengan atom *sodium* (Na) sehingga baja pada spesimen dapat digolongkan sebagai baja paduan MnNa.[5]

4. Kesimpulan

Berdasarkan beberapa pengujian yang telah dilakukan oleh penulis dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Terjadi perubahan atom baja paduan sebelum proses, setelah dilakukan *quenching* dan setelah dilakukan *tempering*. Iron (Fe) mengalami penurunan dari 65,79% setelah diquenching 29,28% dan mengalami penurunan setelah

ditempering 39,19%. Manganese(Mn) mengalami penurunan menjadi 0,18% setelah diquenching dari 0,51%. Sodium 0,33% turun 0,26% dan naik menjadi 2,40%

- Bahan mandrill terjadi perubahan sifat fisik yaitu ukuran kristal, kerapatan dislokasi dan regangan mikro pada baja karbon setelah dilakukan proses perlakuan panas. Peningkatan ukuran kristal terjadi setelah proses *tempering* selama 1 jam dengan temperature 425° C yaitu dari 34,33 (nm) menjadi 52,31 (nm). Terjadi penurunan nilai kerapatan dislokasi setelah proses *tempering* selama 1 jam dengan temperatur yaitu 0,00085 (garis/mm²) menjadi 0,00039 (garis/mm²).
- Begitu pula dengan regangan mikro setelah proses *tempering* selama 1 jam dengan suhu 425° C terjadi penurunan yaitu 0,25 (ε) menjadi 0,19 (ε).

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih dipersembahkan kepada pihak-pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian terutama kepada dosen Politeknik Industri ATMI Cikarang, dosen Universitas Kristen Indonesia atas izin penelitian yang diberikan dan kepada laboratorium Universitas Indonesia serta Pusat Laboratoium Forensik, Mabes Polri atas izin pengujian yang telah diberikan sehingga dapat tercapai kegiatan penelitian ini.

Daftar Rujukan

- [1] Didi's. 2015. *Pengertian, Definisi Baja*.
- [2] Muslih Nasution., 2018. Karakteristik Baja Karbon Terkorosi oleh Air Laut. *Buletin Utama Teknik*, 14 (1), pp. 45-46
- [3] Jordi, Muhammad, Hartono Yudo, Sardjito Jokosisworo., 2017. Analisa Pengaruh Proses *Quenching* dengan Media Berbeda Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Baja St 36 dengan Pengelasan SMAW. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5 (1), pp. 133-135.
- [4] Budiarto Djono Siswanto., Pengaruh Temperatur Artificial Age Terhadap Kekerasan, Kekuatan luluh, dan Kerapatan Dislokasi pada Paduan Al97,11Mg1,52Si0,86Zn0,51. *Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy*, 5 (2), pp. 119-120.
- [5] Putra, Oki., Fadila, Rusdan., Andrijanto, Eko., Suminar, Dian Ratna., 2021. *Sintesis Dan Karakterisasi Bahan Katoda Baterai Lithium Iron Phospate (FeLiO₄P) Menggunakan Metode Solid State Reaction*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- [6] Budiarto, 2021. Laporan penelitian kelompok Pengaruh Temperatur Pemanasan Terhadap Struktur Kristal Dan Struktur Mikro Pada Sintesis Paduan LiNi 0,7Co0,2FeO,1O₂ Untuk Katoda Baterai Li-Ion. Jakarta. Repository UKI: Jakarta.
- [7] Budiarto Djono Siswanto, Melya Dyanasari Sebayang, Septian Arum Fajar Maulana. Analisa Temperatur Sinter Terhadap Diameter Kristallit, Kerapatan Dislokasi, Regangan Mikro Dan Struktur Mikro Pada Material Katoda Baterai LiNi0,7FeO,2CoO,1O₂. *Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy*, 6 (01), pp. 11-13.
- [8] Eddy Gunawan. 2017. Analisa Pengaruh Temperatur Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Pada Baja Karbon Rendah

(ST41) Dengan Metode Pack Carbirizing. *Teknika: Engineering and Sains Journal*, 1 (2), pp. 117-124.

[9] Gunawan Dwi Haryadi, Angelius Fredy Utomo, I Made Wicaksana Ekaputra. 2021. Pengaruh Variasi Temperatur Quenching dan Media Pendingin terhadap Tingkat Kekerasan Baja AISI 1045. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 16 (2), pp. 255-264.

[10] Ihsan Gata Bangsawan, Suharno, Budi Harjanto. 2012. Pengaruh Variasi Temperatur Dan *Holding Time* Dengan Media

Quenching Oli Mesran SAE 40 Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Baja Assab 760. *Nosel Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Mesin*. 1 (2), pp. 1-13.

[11] Gunawan Dwi Haryadi. 2006. Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan, Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Pada Baja K-460. *Jurnal Teknik Mesin Undip*. 8(2), pp. 1-8.
