

Pengaruh Variasi Media Pendingin Proses *Quenching* Terhadap Mikrostruktur dan Sifat Mekanik Baja *Hadfield*

Ilham Azmy*Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung
Jln. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung Barat, 40559, Indonesia*E-mail: ilham.azmy@polban.ac.id

Abstrak**Info Naskah:**

Naskah masuk: 27 Mei 2022

Direvisi: 20 Juni 2022

Diterima: 11 Juli 2022

Baja mangan yang mengandung 1,2% C dan 12% Mn dikenal secara umum sebagai baja *Hadfield*. Berdasarkan tingginya kandungan unsur C dan Mn, struktur utama baja ini didominasi oleh matriks austenit yang dikelilingi fasa karbida pada batas butirnya. Struktur tersebut biasanya rapuh dan cenderung tidak layak untuk penggunaan dalam kondisi pembebanan tinggi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, metode eksperimen dilakukan dengan cara memanaskan baja *Hadfield* hingga temperatur 1000 °C, kemudian dilanjutkan dengan proses *quenching* menggunakan variasi media pendingin yaitu air dan air garam 20 wt.% NaCl. Pemilihan variasi media pendingin ini bertujuan untuk mengetahui tingkat pembentukan fasa karbida dan pengaruhnya terhadap mikrostruktur dan sifat mekaniknya. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa baja *Hadfield* dengan variasi *quenching* air garam 20 wt.% NaCl memiliki transformasi mikrostruktur yang signifikan sehingga berefek pada peningkatan nilai kekuatan tarik dan luluh (809,5 dan 542,4 MPa), kekerasan (238 HV), keuletan dan ketangguhannya.

Abstract**Keywords:**hadfield steel;
quenching;
microstructure;
mechanical properties.

Manganese steel contains 1,2% C and 12% Mn generally recognized as Hadfield steel. Based on the high composition of C and Mn elements, the main structure of this steel is dominated by an austenite matrix that surrounded the carbide phase on the grain boundary. This structure is usually brittle which leads to improper high-loading conditions. To overcome this problem, the experimental method was carried out by heating Hadfield steel to a temperature of 1000 oC, then followed by a quenching process using cooling media variations namely water and salt bath (20 wt.% NaCl solution). These cooling media variations aim to determine the level of carbide formation which affects the microstructure and mechanical properties. From the test results, it was obtained that Hadfield steel with salt bath (20 wt.% NaCl) quenching variation has significant microstructure transformation which affects enhancement of the value of tensile and yield strength (809,5 and 542,4 MPa), hardness (238 HV), ductility and toughness.

Penulis korespondensi:*Ilham Azmy**E-mail: ilham.azmy@polban.ac.id

1. Pendahuluan

Baja *Hadfield* merupakan baja non-magnetik dengan kandungan 1-1,4% C dan 10-14% Mn yang memiliki kapabilitas untuk proses *hardening* dan ketahanan aus yang baik[1]. Baja *Hadfield* dengan kekuatan yang baik, kemudahan untuk dibentuk, dan resitivitas aus tinggi ini secara luas digunakan dalam berbagai aplikasi industri seperti industri pertambangan, konstruksi, dan rel kereta api. Berdasarkan tingginya kandungan unsur C dan Mn pada baja *Hadfield*, maka struktur utamanya didominasi oleh butiran austenit yang dikelilingi karbida pada setiap batas butir matriks austenitnya. Struktur tersebut biasanya rapuh dan cenderung tidak layak untuk penggunaan kondisi pembebanan tinggi dalam waktu yang lama[2].

Beberapa metode rekayasa telah dilakukan untuk meningkatkan karakteristik baja *Hadfield*. Proses penambahan unsur paduan telah dilakukan pada rekayasa baja *Hadfield* untuk meningkatkan ketahanan ausnya. Salah satunya adalah penambahan unsur paduan vanadium pada baja mangan *Hadfield* yang efeknya akan menimbulkan pembentukan partikel vanadium-karbon (VC). Namun demikian, secara umum hasil rekayasa tersebut masih menunjukkan nilai kekerasan yang rendah[3]. Di sisi lain, penambahan unsur paduan lainnya seperti kromium dan nikel telah dilakukan juga untuk meningkatkan mikrostruktur dan ketahanan aus baja *Hadfield*. Hasilnya menunjukkan adanya peningkatan kekerasan dan ketahanan aus, tetapi nilai kekuatan relatif menurun[4]. Berbeda dengan metode rekayasa sebelumnya, metode rekayasa dengan melibatkan dua langkah proses perlakuan panas *annealing* juga telah dilakukan pada baja *Hadfield* sehingga terbentuk kelarutan yang lebih baik pada fasa austenitnya. Dari hasil rekayasa tersebut, nilai kekuatan relatif tinggi namun nilai kekerasan secara drastis menurun[5].

Berdasarkan beberapa metode rekayasa yang telah dilakukan tersebut, baja *Hadfield* diperhatikan sebagai salah satu baja yang sangat penting untuk terus diteliti lebih lanjut. Hal ini didukung dengan karakteristik baja *Hadfield* yang cenderung mudah dikerjakan (*high-machineability*) dan memiliki struktur kombinasi karbida (Fe-Mn-C) yang kompleks sehingga tentunya berguna dalam meningkatkan transformasi mikrostruktur dengan cara melakukan proses rekayasa khususnya melalui perlakuan panas yang tepat[6].

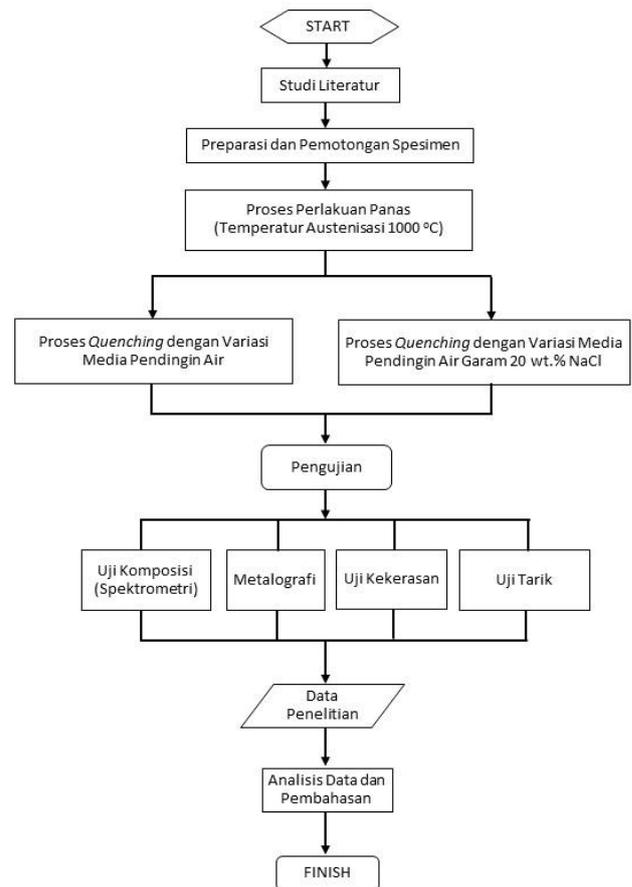
Maka dari itu, pada penelitian ini dilakukan rekayasa baja *Hadfield* dengan melibatkan proses perlakuan panas *quenching*. Proses *quenching* ini diharapkan menjadi metode rekayasa yang tepat dan dapat memberikan efek perubahan mikrostruktur sehingga meningkatkan sifat mekanik baja *Hadfield* secara signifikan. Beberapa parameter seperti temperatur austenisasi dan kecepatan proses pendinginan *quenching* mempengaruhi hasil perlakuan panas pada baja *Hadfield*[7]. Dalam penelitian ini, parameter kecepatan pendinginan menjadi variabel yang dikaji melalui cara penggunaan variasi media pendingin proses *quenching* yang berbeda.

Proses *quenching* dilakukan dengan menggunakan variasi media pendingin air dan air garam (*salt bath*). Perbedaan viskositas pada kedua media pendingin tersebut diharapkan dapat mempengaruhi mikrostruktur karbida pada matriks austenit sehingga terjadi peningkatan nilai

kekuatan dan kekerasan baja *Hadfield* yang mumpuni. Dengan demikian, proses perlakuan panas *quenching* pada baja *Hadfield* ini akan memberikan pengaruh terhadap mikrostruktur dan sifat mekaniknya dalam kaitannya terhadap peningkatan umur pakai (*lifetime*) yang lebih baik.

2. Metode

Proses pengerjaan penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimentasi yang melibatkan beberapa tahapan penelitian seperti dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1 Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah baja mangan austenitik *Hadfield* komersil, air, dan natrium klorida (NaCl). Proses preparasi spesimen uji dilakukan dengan memotong pelat baja *Hadfield* sebanyak 3 buah berdimensi 10x20x8 mm. Spesimen yang telah dipotong ini selanjutnya digunakan pada proses penelitian ini. Selain itu, beberapa alat digunakan dalam proses eksperimen ini seperti *cutting machine*, cawan, *magnetic stirrer* dan *furnace*.

2.2 Proses Quenching

Proses perlakuan panas *quenching* dilakukan pada 2 buah spesimen baja *Hadfield*, sementara itu 1 buah spesimen tidak diberikan perlakuan apapun. Proses *quenching* dilakukan dengan menggunakan variasi media pendingin yang berbeda. Proses *quenching* diawali dengan

memanaskan spesimen didalam *furnace* hingga temperatur 1000 °C dan ditahan selama 3 jam agar terjadi penyebaran panas yang homogen pada seluruh bagian spesimen. Selanjutnya, proses pendinginan cepat dilakukan dengan mencelupkan spesimen kedalam 2 jenis variasi media pendingin yang berbeda yaitu air dan air garam 20 wt.% NaCl.

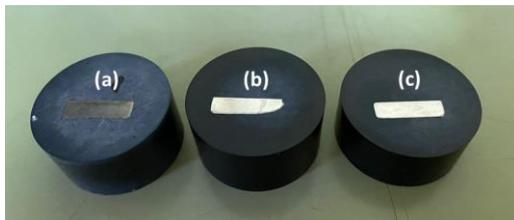
2.3 Uji Spektrometri

Pengujian spektrometri dilakukan untuk menentukan kesesuaian komposisi dan jumlah persentase unsur kimia spesimen baja *Hadfield* yang digunakan dalam penelitian dengan baja mangan austenitik yang terstandar (ASTM A 128). Mesin *Optical Emission Spectrometer* ARL 3460 digunakan untuk menganalisis kandungan komposisi unsur kimia pada baja *Hadfield*.

2.4 Pengamatan Mikrostruktur

Pengamatan mikrostruktur dilakukan dengan teknik metalografi standar ASTM E3. Teknik metalografi meliputi beberapa proses yaitu proses *mounting*, *grinding*, *polishing*, dan *etching* yang dilakukan pada spesimen baja *Hadfield*. Spesimen baja *Hadfield* berdimensi 10x20x8 mm di-*mounting* menggunakan bakelit dengan mesin *mounting press*. Proses *grinding* menggunakan mesin *rotary grinder* dengan kertas abrasif grade kasar hingga halus (200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 2000 *mesh*). Setelah permukaan spesimen terlihat rata, proses *polishing* dilakukan dengan pasta alumina sehingga bekas goresan menghilang dan mengkilap. Selanjutnya, proses *etching* dilakukan dengan mencelupkan spesimen ke dalam larutan etsa yang terdiri dari 50 ml HCl, 25 ml HNO₃, dan 25 ml H₂O (ASTM E340) selama 10-15 detik. Kemudian, spesimen dibersihkan dengan alkohol dan dikeringkan dengan mesin *dryer*.

Spesimen baja *Hadfield* yang telah kering dan selesai dipreparasi seperti dapat dilihat pada Gambar 2, selanjutnya diamati mikrostrukturnya dengan menggunakan *Optical Microscope Olympus BX51M*.



Gambar 2. Spesimen *Mounting*, (a) Tanpa Perlakuan; (b) Hasil *Quenching* Media Air; (c) Hasil *Quenching* Media Air Garam 20 wt.% NaCl

2.5 Uji Kekerasan

Uji kekerasan dilakukan untuk menghitung nilai kekerasan dari spesimen baja *Hadfield*. *Vickers Microhardness Tester* model *Mitutoyo HM-122* digunakan dalam uji kekerasan ini dengan pembebanan sebesar 100 N selama 25 detik. Pengukuran nilai kekerasan dilakukan pada 3 (tiga) lokasi berbeda dari masing-masing spesimen

baja *Hadfield* yang dapat dilihat pada Gambar 2. Adapun nilai rata-rata dari pengukuran tersebut kemudian akan dilaporkan pada penelitian ini.

2.6 Uji Tarik

Uji tarik dilakukan untuk mengukur beberapa karakteristik mekanik dari spesimen baja *Hadfield* (kekuatan, *yield strength*, elongasi). Spesimen baja *Hadfield* berbentuk pelat dipreparasi sesuai standar ASTM E8-M seperti dapat dilihat pada Gambar 3. Spesimen yang telah dipreparasi tersebut, kemudian diuji karakteristik mekaniknya dengan menggunakan mesin *Tensile Tester Tokyo Koki Seizosho* digunakan untuk melakukan pengujian tarik ini.



Gambar 3. Spesimen Uji Tarik, (a) Tanpa Perlakuan; (b) Hasil *Quenching* Media Air; (c) Hasil *Quenching* Media Air Garam 20 wt.% NaCl

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Hasil Uji Spektrometri

Pengujian spektrometri dilakukan untuk memastikan kesesuaian spesimen baja *Hadfield* yang digunakan dalam penelitian dengan standar ASTM A128. Pada Tabel 1 ditunjukkan data hasil uji spektrometri yang telah dilakukan untuk spesimen baja *Hadfield*.

Tabel 1. Data Hasil Uji Spektrometri

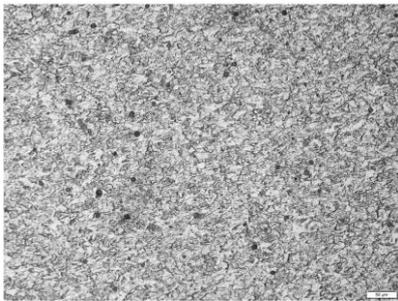
| No | Unsur | Nilai (%) |
|----|------------------------|-----------|
| 1 | Carbon (C) | 1,13 |
| 2 | Silicon (Si) | 0,413 |
| 3 | Sulfur (S) | 0,024 |
| 4 | Phosporus (P) | 0,060 |
| 5 | Manganese (Mn) | 13,01 |
| 6 | Nickel (Ni) | 0,02 |
| 7 | Chromium (Cr) | 0,60 |
| 8 | Molybdenum (Mo) | 0,018 |
| 9 | Vanadium (V) | 0,000 |
| 10 | Copper (Cu) | 0,024 |
| 11 | Wolfram/Tungsten (W) | 0,001 |
| 12 | Titanium (Ti) | 0,002 |
| 13 | Tin (Sn) | 0,004 |
| 14 | Aluminium (Al) | 0,043 |
| 15 | Lead (Pb) | 0,0004 |
| 16 | Antimony (Sb) | 0,000 |
| 17 | Niobium (Nb) | 0,000 |
| 18 | Zirconium (Zr) | 0,000 |
| 19 | Zinc (Zn) | 0,001 |
| 20 | Ferro (Fe) | 84,658 |

Dari Tabel 1 tersebut, spesimen baja *Hadfield* memiliki kandungan nilai unsur kimia utamanya Fe sebesar 84,658 %, C sebesar 1,13 %, dan Mn sebesar 13,01 %. Dengan demikian, hasil spektrometri spesimen baja *Hadfield* sesuai dengan standar baja mangan austenitik ASTM A128 *grade A*[8].

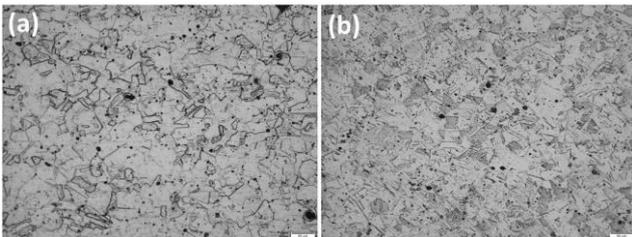
3.2 Analisis Hasil Mikrostruktur

Pengamatan mikrostruktur dilakukan dengan teknik metalografi untuk spesimen baja *Hadfield*. Proses ini sangat penting dilakukan untuk mengetahui perubahan yang terjadi dalam pengamatan mikro selama adanya pengaruh variasi media pendingin proses *quenching* pada spesimen baja *Hadfield*. Untuk dapat membandingkan fenomena perubahan mikrostruktur tersebut, maka diambil tiga buah gambar mikrostruktur dari spesimen baja *Hadfield* dengan variasi media pendingin proses *quenching* yang berbeda.

Pada Gambar 4 diperlihatkan mikrostruktur baja *Hadfield* tanpa perlakuan (spesimen awal). Mikrostruktur ini menjadi acuan untuk dapat melihat fasa-fasa utama pembentuk dari spesimen baja *Hadfield* sebelum diberikan perlakuan proses *quenching*.



Gambar 4. Mikrostruktur Baja *Hadfield* Tanpa Perlakuan



Gambar 5. Mikrostruktur Baja *Hadfield*, (a) *Quenching* Media Air; (b) *Quenching* Media Air Garam 20 wt.% NaCl

Seperti dapat dilihat pada Gambar 4, mikrostruktur baja *Hadfield* tanpa perlakuan terdiri dari matriks austenit dengan fasa karbida (FeMn_3C) kontinyu yang berada pada batas butirnya. Matriks austenit terlihat sangat dominan dikarenakan baja *Hadfield* memiliki kandungan penstabil austenit yang berlimpah. Di sisi lain, atom C dalam fasa karbida mengakibatkan adanya sisi gelap sepanjang batas butir (*grain boundary*)[9].

Pada Gambar 5 memperlihatkan mikrostruktur dari spesimen baja *Hadfield* dengan variasi media pendingin proses *quenching* yang berbeda (air dan air garam 20 wt.% NaCl).

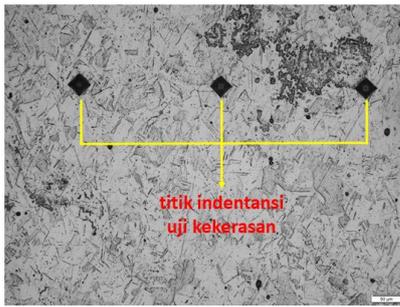
Gambar 5(a) menunjukkan mikrostruktur baja *Hadfield* dengan variasi media pendingin *quenching* air. Baja *Hadfield* dengan variasi media pendingin *quenching* air masih memperlihatkan dominasi matriks austenit bersamaan dengan distribusi fasa karbida. Hal ini disebabkan oleh tingginya kadar karbon (C) dan mangan (Mn), serta proses austenisasi yang diberikan hingga mencapai temperatur 1000 °C sebelum proses *quenching*[10]. Pada hakikatnya, dengan tingginya kadar Mn pada paduan baja mangan (*Fe-Mn alloy*) mengakibatkan pembentukan martensit selama proses *quenching* tidak terjadi dan mengakibatkan terjadinya fasa austenit dan karbida[11].

Gambar 5(b) memperlihatkan mikrostruktur baja *Hadfield* dengan variasi media pendingin *quenching* air garam 20 wt.% NaCl. Mikrostruktur yang terbentuk masih didominasi oleh matriks austenit dengan fasa karbida (FeMn_3C) dengan butiran yang lebih halus. Poin penting yang patut ditekankan dalam gambar mikrostruktur baja *Hadfield* ini adalah kandungan yang relatif rendah dari fasa karbida bila dibandingkan dengan baja *Hadfield* hasil variasi media pendingin proses *quenching* air. Fenomena ini terjadi karena air garam (*salt bath*) memiliki laju pendinginan (*quenching rate*) yang lebih tinggi dibandingkan dengan air[12]. Oleh karena itu, penurunan pembentukan karbida terjadi pada baja *Hadfield* hasil variasi media pendingin *quenching* air garam 20 wt.% NaCl yang disebabkan oleh laju pendinginan lebih cepat sehingga menghilangkan ketersediaan waktu reaksi antara unsur karbon (C) dengan mangan (Mn) dan besi (Fe)[13], [14]. Hal ini akan mengakibatkan menurunnya jumlah fasa karbida pada baja *Hadfield* hasil variasi media pendingin *quenching* air garam 20 wt.% NaCl.

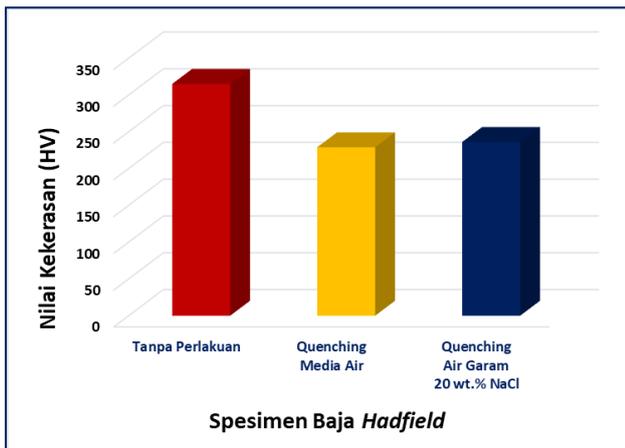
3.3 Analisis Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk menilai nilai kekerasan vickers (HV) pada spesimen baja *Hadfield* tanpa perlakuan, variasi media pendingin *quenching* air, dan variasi media pendingin *quenching* air garam 20 wt.% NaCl. Proses ini dilakukan untuk dapat melihat perbandingan nilai kekerasan dari ketiga spesimen baja *Hadfield* dengan jenis media pendinginan yang bervariasi yang akan mempengaruhi struktur mikro dan nilai kekerasannya[15]. Adapun teknik pengujian kekerasan dilakukan dalam 3 (tiga) lokasi titik indentasi dari masing-masing spesimen baja *Hadfield* seperti dapat dilihat pada Gambar 6. Parameter pengambilan titik indentasi ini dilakukan untuk mengantisipasi perbedaan indentasi pada lokasi fasa spesimen baja *Hadfield* yang berbeda. Maka, dari ketiga titik itu sangat perlu nilai rerata kekerasan vickers (HV) sehingga dapat memperlihatkan nilai kekerasan secara umum pada baja *Hadfield*.

Dari hasil pengambilan tiga titik indentasi nilai kekerasan tersebut, nilai rerata kekerasan yang didapatkan tiap spesimen selanjutnya dianalisis dan dibandingkan satu sama lain. Proses analisis nilai kekerasan ini dikaitkan dengan perubahan mikrostruktur yang terjadi setelah proses perlakuan panas *quenching* dengan variasi media pendingin yang berbeda dilakukan.



Gambar 6. Lokasi titik indentansi proses pengujian kekerasan



Gambar 7. Grafik hasil pengujian kekerasan spesimen baja Hadfield

Pada Gambar 7 ditunjukkan perbandingan nilai rerata kekerasan vickers (HV) untuk masing-masing baja Hadfield tanpa perlakuan, variasi media pendingin *quenching* air, dan variasi media pendingin *quenching* air garam 20 wt.% NaCl. Perbedaan nilai rerata kekerasan yang signifikan setelah proses *quenching* dilakukan begitu terlihat dari grafik pada Gambar 7 tersebut. Perbedaan nilai rerata kekerasan ini memperlihatkan secara jelas bahwa variasi media pendingin proses *quenching* memberikan efek yang signifikan dengan perubahan nilai kekerasan. Hal ini sejalan juga dengan perubahan mikrostruktur baja Hadfield diakibatkan proses perlakuan panas *quenching* dengan menggunakan variasi media pendingin air dan air garam 20 wt.% NaCl.

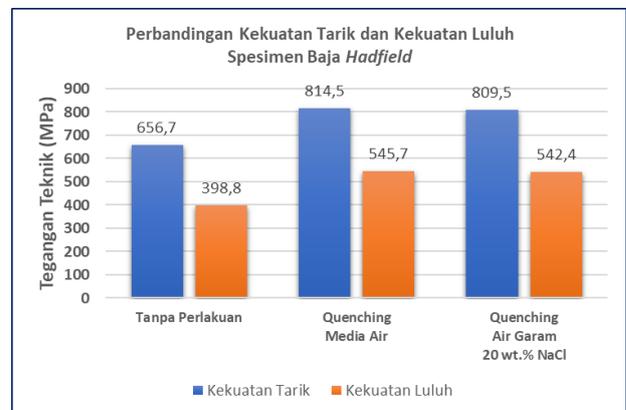
Seperti dapat dilihat pada Gambar 7, baja Hadfield tanpa perlakuan memiliki nilai rerata kekerasan sebesar 315 HV. Adapun baja Hadfield dengan variasi media pendingin *quenching* air dan *quenching* air garam 20 wt.% NaCl memiliki nilai rerata kekerasan berturut-turut sebesar 228,8 HV dan 236 HV. Nilai kekerasan baja Hadfield tanpa perlakuan ini menunjukkan angka yang terbesar bila dibandingkan dengan kedua spesimen baja Hadfield lainnya. Dari perbandingan ketiga nilai rerata kekerasan baja Hadfield tersebut, maka dapat dilihat bahwa baja Hadfield dengan variasi media pendingin *quenching* air memiliki nilai rerata kekerasan terkecil (228,8 HV), meskipun perbedaan nilainya tidak begitu jauh dengan nilai kekerasan baja Hadfield dengan variasi media pendingin

quenching air garam 20 wt.% NaCl (236 HV). Hal ini terjadi karena spesimen baja Hadfield dengan variasi media pendingin *quenching* air memiliki kandungan fasa karbida yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen baja Hadfield dengan variasi media pendingin *quenching* air garam 20 wt.% NaCl. Fasa karbida (FeMn_3C) merupakan partikel keras yang dapat meningkatkan nilai kekerasan baja Hadfield [16], [17]. Sejalan dengan itu, konsentrasi fasa karbida dalam jumlah yang lebih tinggi merupakan sebab lain yang mengakibatkan nilai kekerasan baja Hadfield tanpa perlakuan tersebut lebih besar dibandingkan baja Hadfield dengan variasi media pendingin *quenching* air dan *quenching* air garam 20 wt.% NaCl.

3.4 Analisis Hasil Uji Tarik

Pengujian tarik (*tensile test*) dilakukan untuk dapat mengukur beberapa karakteristik mekanik seperti nilai kekuatan tarik, kekuatan luluh (*yield strength*), dan keuletan dari spesimen baja Hadfield. Kekuatan tarik memiliki peran penting dalam suatu material untuk dapat diaplikasikan dalam kondisi pembebanan tarik, sedangkan kekuatan luluh berperan dalam menentukan derajat deformasi elastis sehingga material baja Hadfield mampu diaplikasikan dalam kondisi tertentu.

Hasil pengujian tarik ditunjukkan dalam bentuk perbandingan nilai kekuatan tarik dan kekuatan luluh baja Hadfield tanpa perlakuan, variasi media pendingin *quenching* air, serta variasi media pendingin *quenching* air garam 20 wt.% NaCl seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik perbandingan kekuatan tarik dan kekuatan luluh baja Hadfield

Baja Hadfield dengan variasi media pendingin *quenching* air menunjukkan nilai kekuatan tarik dan kekuatan luluh terbesar yaitu 814,5 dan 545,7 MPa. Sementara itu, nilai kekuatan tarik dan kekuatan luluh spesimen baja dengan variasi media pendingin *quenching* air garam 20 wt.% NaCl sebesar 809,5 dan 542,4 MPa. Nilai kekuatan tarik dan luluh baja Hadfield dengan variasi media pendingin *quenching* air dan *quenching* air garam 20 wt.% NaCl terlihat mengalami peningkatan signifikan bila dibandingkan dengan baja Hadfield tanpa perlakuan. Baja Hadfield tanpa perlakuan hanya menunjukkan nilai kekuatan tarik dan luluh sebesar 656,7 dan 398,8 MPa.

Meskipun demikian, nilai kekuatan tarik dan luluh baja *Hadfield* dengan variasi media pendingin *quenching* air sedikit lebih tinggi dibandingkan baja *Hadfield* dengan variasi media pendingin *quenching* air garam 20 wt.% NaCl. Fenomena ini terjadi karena berkaitan erat dengan ukuran dan batas butiran fasa baja *Hadfield* dengan variasi media pendingin *quenching* air yang relatif lebih kecil. Hal tersebut menyebabkan keberadaan energi yang besar dan mengunci dislokasi atom-atom pada fasa baja *Hadfield*, sehingga cenderung meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan luluhnya[18], [19]. Dengan demikian, dengan adanya proses rekayasa *quenching* cukup signifikan untuk meningkatkan nilai kekuatan baja *Hadfield*.

Karakteristik mekanik lainnya yang tidak kalah penting adalah keuletan (*ductility*). Keuletan merupakan kemampuan material untuk menahan peregangan sebelum material tersebut mengalami patah. Untuk mengukur nilai keuletan, maka dapat dihitung dari persentase nilai elongasi yang terjadi selama pengujian tarik pada spesimen baja *Hadfield*.

Gambar 9 merepresentasikan perbandingan nilai elongasi spesimen baja *Hadfield* tanpa perlakuan, dengan variasi media pendingin *quenching* air, serta variasi media pendingin *quenching* air garam 20 wt.% NaCl.



Gambar 9. Grafik perbandingan nilai elongasi Baja *Hadfield*

Baja *Hadfield* dengan variasi media pendingin *quenching* air garam 20 wt.% NaCl memiliki nilai elongasi terbesar (42,2 %), sedangkan baja *Hadfield* tanpa perlakuan memiliki nilai elongasi terkecil (33,9%). Di sisi lain, nilai elongasi baja *Hadfield* dengan variasi media pendingin *quenching* air hanya sebesar 39,4 %. Besaran nilai elongasi ini menunjukkan bahwa baja *Hadfield* dengan variasi media pendingin *quenching* air garam 20 wt.% NaCl lebih ulet (*ductile*) dibandingkan baja *Hadfield* tanpa perlakuan dan baja *Hadfield* dengan variasi media pendingin *quenching* air. Fakta ini didukung oleh fenomena bahwa semakin tinggi konsentrasi fasa karbida akan menurunkan keuletan (*ductility*) seperti pada baja *Hadfield* tanpa perlakuan dan baja *Hadfield* dengan variasi media pendingin *quenching* air[20]. Pembentukan fasa karbida mengurangi konsentrasi unsur karbon (C) pada matriks austenit yang cenderung mereduksi energi aktivasi atom didalam baja *Hadfield* selama terjadinya deformasi plastis[21]. Hasilnya, pembentukan karbida tersebut menurunkan kemampuan deformasi dari baja *Hadfield*. Dengan demikian, baja *Hadfield* dengan variasi media pendingin *quenching* air

garam 20 wt.% NaCl memiliki ketangguhan (*toughness*) yang lebih tinggi juga dibandingkan dengan baja *Hadfield* tanpa perlakuan dan baja *Hadfield* dengan variasi media pendingin *quenching* air.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah diperoleh, maka dapat disimpulkan bahwa baja *Hadfield* dengan variasi media pendingin *quenching* air garam 20 wt.% NaCl menunjukkan perubahan mikrostruktur dan peningkatan sifat mekanik yang mumpuni. Perubahan mikrostruktur terjadi dengan terbentuknya fasa karbida yang lebih halus pada matriks austenit yang berefek pada meningkatnya nilai kekuatan tarik, kekuatan luluh, keuletan, dan ketangguhan pada baja *Hadfield* dengan variasi media pendingin *quenching* air garam 20 wt.% NaCl.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih disampaikan kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) dan Laboratorium Bahan & Metalurgi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung yang telah memberikan dukungan materil maupun non-materil selama proses pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] M. Koyama, T. Sawaguchi, and K. Tsuzaki, "Overview of Dynamic Strain Aging and Associated Phenomena in Fe–Mn–C Austenitic Steels," *ISIJ International*, vol. 58, no. 8, pp. 1383-1395, 2018.
- [2] R. Jacob, S. Raman Sankaranarayanan, and S. P. Kumaresh Babu, "Recent advancements in manganese steels – A review," *Materials Today: Proceedings*, vol. 27, pp. 2852-2858, 2020.
- [3] M. Sabzi and M. Farzam, "Hadfield manganese austenitic steel: a review of manufacturing processes and properties," *Materials Research Express*, vol. 6, no. 10, 2019.
- [4] S. Ayadi and A. Hadji, "Effect of Heat Treatments on the Microstructure and Wear Resistance of a Modified Hadfield Steel," *Metallofizika I Noveishie Tekhnologii*, vol. 41, no. 5, pp. 607-620, 2019.
- [5] M. Azadi, A. M. Pazuki, and M. J. Olya, "The Effect of New Double Solution Heat Treatment on the High Manganese Hadfield Steel Properties," *Metallography, Microstructure, and Analysis*, vol. 7, no. 5, pp. 618-626, 2018.
- [6] P. Chowdhury, D. Canadinc, and H. Sehitoglu, "On deformation behavior of Fe-Mn based structural alloys," *Materials Science and Engineering: R: Reports*, vol. 122, pp. 1-28, 2017.
- [7] M. K. El Fawkhry, "Modified Hadfield Steel for Castings of High and Low Gouging Applications," *International Journal of Metalcasting*, vol. 15, no. 2, pp. 613-624, 2020.
- [8] *ASTM A128/A128M Standard Specification for Steel Castings, Austenitic Manganese*, 2017.
- [9] I. Azmy, M. A. K. Umam, and R. Muliawan, "Studi Pengaruh Proses Tempering Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Post-Annealing Baja Mangan Austenitik," *Jurnal Polimesin*, vol. 19, no. 2, pp. 169-175, 2021.
- [10] H. R. Jafarian, M. Sabzi, S. H. Mousavi Anijdan, A. R. Eivani, and N. Park, "The influence of austenitization temperature on microstructural developments, mechanical properties, fracture mode and wear mechanism of Hadfield high manganese steel," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 10, pp. 819-831, 2021.

- [11] F. M. Ridlo, P. A. Paristiawan, and M. A. Prasetyo, "Pengaruh Variasi Holding Time Dan Media Pendingin Pada Proses Solution Treatment Terhadap Kekerasan Dan Ketangguhan Paduan Baja Fe12Mn1,5Mo," *METAL INDONESIA*, vol. 42, no. 2, pp. 77-85, 2020.
- [12] A. E. Pramudita and A. E. Palupi, "Pengaruh Penambahan Garam (NaCl) Terhadap Sifat Mekanik Al6061 Dengan Perlakuan Panas T6 Double Quenching Oli SAE 20W," *Jurnal Teknik Mesin UNESA*, vol. 07, no. 01, pp. 103-110, 2019.
- [13] A. Salak and M. Selecka, *Manganese in Powder Metallurgy Steels* (Manganese in Powder Metallurgy Steels). Cambridge International Science Publishing Ltd, 2012.
- [14] P. A. Paristiawan, F. M. Ridlo, M. A. Prasetyo, and S. A. Chandra, "Pengaruh Variasi Media Pendingin dan Variasi Holding Time pada Proses Perlakuan Panas terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Baja Mangan Fe-10.5Mn-1.3Mo-2.5Ni," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 12, no. 3, pp. 573-580, 2021.
- [15] S. Wilastari, "Optimasi Temperatur Yang Mempengaruhi Kekerasan Pada Pembuatan Ball Mill Dengan Cara Hot Rolling," *Jurnal Infotekmesin*, vol. 9, no. 2, pp. 72-75, 2018.
- [16] E. Pujiyulianto, S. B. Pratomo, and Pawawoi, "Pengaruh Karbon Terhadap Perubahan Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Baja Mangan Austenitik," *METAL INDONESIA*, vol. 40, no. 1, pp. 17-25, 2018.
- [17] A. Mersilia, P. Karo Karo, and Y. I. Supriyatna, "Pengaruh Heat Treatment Dengan Variasi Media Quenching Air Garam dan Oli Terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan Baja Pegas Daun AISI 6135," *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, vol. 4, no. 02, pp. 175-180, 2016.
- [18] E. Hidayat and B. Bandanadjaja, "Peningkatan Nilai Impak Baja Hadfield Mn 12 Melalui Proses Perlakuan Panas Homogenisasi Bertahap," *Jurnal Energi dan Teknologi Manufaktur (JETM)*, vol. 01, no. 02, pp. 09-14, 2018.
- [19] C. Chen, B. Lv, H. Ma, D. Sun, and F. Zhang, "Wear behavior and the corresponding work hardening characteristics of Hadfield steel," *Tribology International*, vol. 121, pp. 389-399, 2018.
- [20] E. Nugroho, U. S. Dharma, and Y. Thalabi, "Pengaruh Preheat dan Variasi Arus Pengelasan Menggunakan Elektroda LB 52 Terhadap Komposisi Kimia Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Pada Pengelasan Baja Mangan Austenitik," *TURBO*, vol. 7, no. 2, pp. 239-245, 2018.
- [21] M. K. Banerjee, "2.8 Heat Treatment of Commercial Steels for Engineering Applications," in *Comprehensive Materials Finishing*, 2017, pp. 180-213.