

Permana Andi Paristiawan

Peneliti Pertama
Pusat Penelitian Metalurgi dan Material
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
permana.andi@gmail.com

Faried Miftahur Ridlo

Peneliti Pertama
Pusat Penelitian Metalurgi dan Material
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
fari007@lipi.go.id

Muklis Agung Prasetyo

Peneliti Pertama
Pusat Penelitian Metalurgi dan Material
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
mukhlisagungp@gmail.com

Septian Adi Chandra

Perekayasa Pertama
Pusat Penelitian Metalurgi dan Material
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
sadichandra@gmail.com

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

The characteristics of the Fe-10.5Mn-1.3Mo-2.5Ni steel alloy results of casting were further investigated after a heat treatment process was carried out through 2 stages, namely heating from room temperature to 700 ° C with a holding time of 3 hours, then raising it again to a temperature of 1000 ° C. with variations in holding time for 1 hour, 2 hours, and 3 hours followed by quenchant in water and 1.5% NaCl solution. The results showed that heat treatment followed by water quenching has produced higher hardness up to 2 hours holding time and subsequently decreased at longer holding time.. Meanwhile, the hardness value gradually increased with a longer holding time in 1.5% NaCl solution cooling process. The highest hardness value reached 235 BHN at the 2 hours holding time followed by water cooling. The results of the impact value of water and NaCl 1.5% varied. In water, the holding time of 1 hour increased at the holding time of 2 hours and decreased at the holding time of 3 hours. Meanwhile, in 1.5% NaCl, the highest value of holding time is 1 hour, then it decreases at 2 hours holding time and increases in 3 hours holding time. The highest impact value of 101 Joule was resulted in heat treatment with 1 hour holding time followed by 1.5 NaCl solution rapid cooling. The microstructure showed that undissolved carbides which dispersed at the grain boundaries and within the grains affecting on high hardness value.

Keywords: Holding Time, Quenchant, Heat Treatment

1. PENDAHULUAN

Secara umum komposisi baja mangan austenitik terdiri dari 11-14% Mn dan 1-1,4% C. Unsur mangan berfungsi sebagai penstabil austenit pada suhu kamar. Selain unsur mangan diatas terdapat pula unsur nikel sebagai penstabil austenit, tetapi nikel harganya relatif mahal [1]. Di Indonesia keberadaan nikel laterit dengan kadar rendah sangatlah melimpah, yang menjadi peluang sebagai produk hilir industri baja di Indonesia [2]. Aplikasi penggunaan baja mangan biasanya pada peralatan pengolahan bahan-bahan tambang, seperti *Jaw Crusher* dan industri yang membutuhkan sifat ketangguhan tinggi [3]. Pada umumnya proses pembuatan baja mangan dibuat dengan proses pengecoran, yang bertujuan untuk menghasilkan fasa *full austenite* dengan koloni-koloni karbida pada batas butir yang dapat mengakibatkan sifat kegetasan [4,5]. Sifat-sifat mekanik pada baja mangan dapat dioptimalkan melalui proses perlakuan panas (*heat treatment*) seperti proses pendinginan cepat (*quenchant*), untuk menghilangkan sifat kegetasan pada batas butir yang diakibatkan oleh matrik karbida sehingga didapatkan struktur *full austenite* yang homogen atau sama setelah selesai proses pengecoran [6]. Proses perlakuan panas untuk menghasilkan struktur *full austenite* meliputi proses pemanasan berkisar pada temperatur 1000 °C hingga 1100 °C, lalu dilanjutkan proses *holding time* dan pendinginan cepat dengan media pendingin air [7]. Proses pada perlakuan panas sangat mempengaruhi

distribusi dan bentuk matrik karbida pada baja mangan austenitik [8]. Dengan adanya fasa austenit pada baja mangan maka dapat menjadikan koefesien karakteristik *thermal* besar yang mengakibatkan proses *thermal shock* ketika dilakukan pemanasan dengan cepat [9]. Untuk itu model pemanasan secara bertahap jauh lebih baik dan efektif [10]. Dalam proses elaborasi pada perlakuan panas mendistribusikan bentuk-bentuk matrik karbida pada baja mangan dengan bervariasi laju pendinginan dan media pendingin[11]. Penggunaan larutan 1,5% NaCl bertujuan untuk mempercepat laju pendinginan spesimen [12]. Penambahan larutan 1,5% NaCl dapat meningkatkan kekerasan pada baja mangan [2,13]. Komposisi kimia sangat mempengaruhi dari kekerasan baja mangan [14].

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui 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.

2. METODE DAN BAHAN

2.1 Bahan

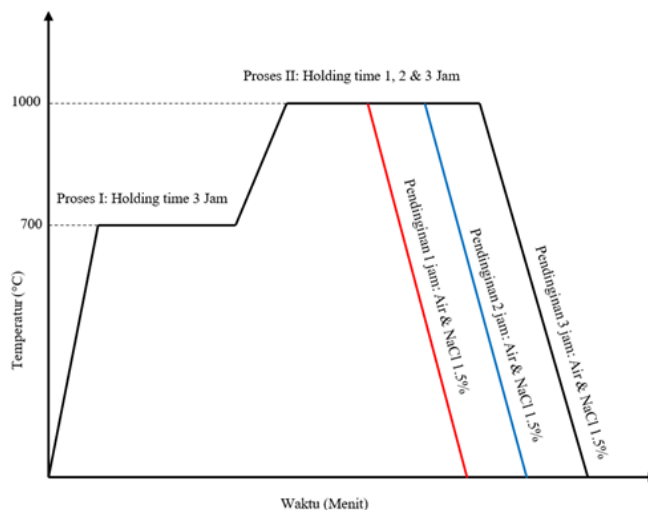
Penelitian ini menggunakan bahan baku paduan baja mangan dengan penambahan unsur nikel dan molybdenum dari hasil proses pengecoran pada tanur induksi berkapasitas 100 Kg di Pusat Penelitian Metalurgi Material-LIPI. Pengujian komposisi kimia didapatkan melalui uji komposisi dengan alat *Optical Emission Spectro* (OES) merek *SpectroLab*. Adapun hasil akhir komposisi kimia dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1: Komposisi Kimia Baja Paduan Fe-10.5Mn-1.3Mo-2.5Ni (% berat)

Unsur	C	Mn	Mo	Si	P	Ni	S	Cr	Fe
Kadar	1,48	10,54	1,30	0,86	0,007	2,47	<0,003	0,05	Balance

2.2 Proses Solution Treatment

Tahapan penelitian ini menjadi 2 variasi proses yaitu proses pertama memanaskan spesimen dari temperatur kamar ke temperatur 700 °C lalu di *holding time* selama 3 jam, lalu dilanjutkan proses kedua dengan pemanasan ke temperatur 1000 °C dengan variasi waktu *holding* selama 1 jam, 2 jam serta 3 jam [12]. Proses pemanasan ini dilakukan pada tungku merek Naberthem tipe LH-15/14"/C440 dilanjutkan dengan proses pendinginan cepat dengan media pendingin berupa air dan air larutan 1,5% NaCl. Mekanisme proses perlakuan panas (*Heat Treatment*) ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1: Mekanisme proses perlakuan panas (*heat treatment*) pada baja Fe-10.5Mn-1.3Mo-2.5Ni

2.3 Pengujian Kekerasan

Proses pengujian kekerasan menggunakan mesin merek Affri tipe 206 RTD metode *Brinell* dengan indenter bola baja berdiameter 2,5 mm, beban 187,5 kgf selama 20 detik sebanyak 5-titik pengujian pada masing-masing spesimen.

2.4 Pengujian Impak

Pada pengujian impak menggunakan standar ASTM E23 dengan metode *Charpy* pada dimensi *subsize* sebesar 55 x 7,5 x 100 mm. Spesimen dipotong dengan ukuran 55 x 7,5 x 100 mm menggunakan mesin EDM

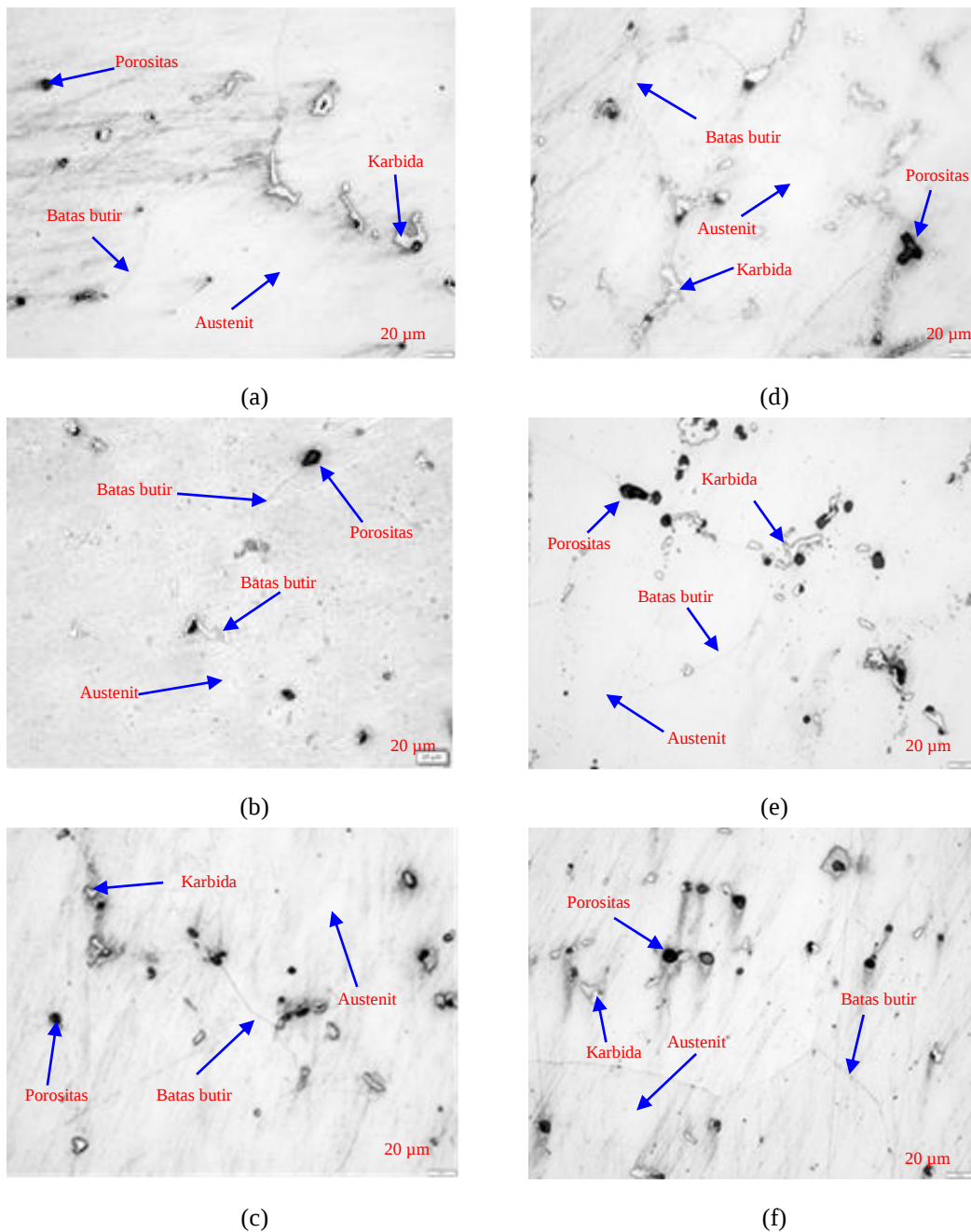
wirecut yang bertujuan untuk mengurangi pengaruh panas sebelum dilakukan proses perlakuan panas.

2.5 Pengamatan Struktur Mikro

Proses metalografi diawali dengan spesimen dipotong 1x1 cm kemudian dilakukan proses *mounting* dengan bahan resin epoksi lalu setelah kering dilanjutkan proses pengamplasan dengan amplas abrasif pada kekasaran 80,100,120,220,400,600,800,1000,1500,2000 μm secara berurutan. Kemudian spesimen hasil pengamplasan dilanjutkan proses *polishing* dengan bantuan alumina 3 μm dan 1 μm . lalu dilanjutkan proses pengetsaaan dengan cairan *Nital* 2% selama 10 detik dengan metode celup. Setelah dietsa spesimen dibersihkan dengan cairan alkohol dan dikeringkan dengan *hairdye*. Sedangkan analisis struktur mikro menggunakan alat miskroskop optik merek Olympus BX 53M dengan pembesaran 500x serta proses pengamatan metalografi untuk melihat bentuk-bentuk patahan dan uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*) menggunakan alat merek JEOL JSM 6390a.

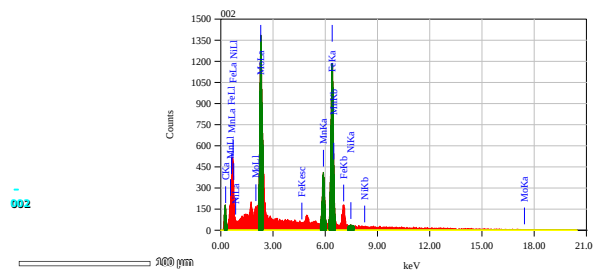
3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Hasil Karakterisasi Struktur Mikro

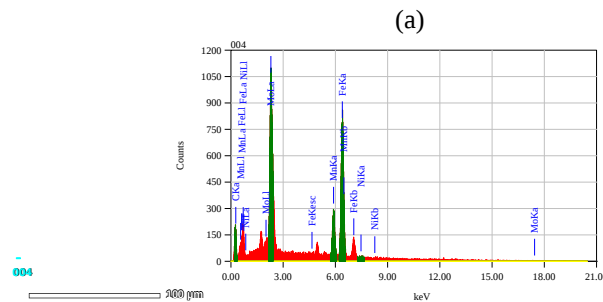


Gambar 2: Struktur mikro spesimen baja Fe-10.5Mn-1.3Mo-2.5Ni dengan etsa nital 2%, (a) 1 Jam-Air; (b) 2 Jam-Air; (c) 3 Jam-Air; (d) 1 Jam-1.5% NaCl; (e) 2 Jam-1.5% NaCl; dan (f) 3 Jam-1.5% NaCl

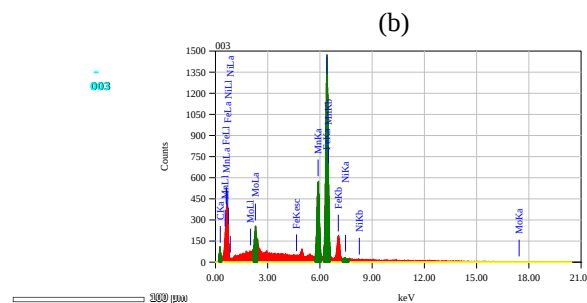
Gambar 2 menunjukkan struktur mikro paduan baja Fe-10.5Mn-1.3Mo-2.5Ni yang terdiri dari karbida, batas butir, porositas dan matrik austenit. Secara umum, struktur mikro menghasilkan matriks austenit yang dominan, walaupun tidak terbentuk secara penuh karena adanya karbida tak larut yang terdispersi baik pada proses pendinginan dengan air maupun larutan 1,5% NaCl. Pada umumnya terlihat fasa austenit dengan karbida tak larut yang terdispersi menjadi koloni-koloni tertentu dan sedikit masuk ke dalam butir-butir, dimana karbida yang tak larut ditunjukkan dengan warna putih. Pada variasi *holding time* 1 jam media pendingin air ukuran koloni karbida lebih besar daripada proses *holding time* 2 jam dan 3 jam. Hal ini menunjukkan semakin lama *holding time* maka karbida dapat larut dan mengecil ke dalam fasa austenit [15]. Pada variasi *holding time* 1, 2 dan 3 jam media pendingin 1,5% NaCl jumlah koloni karbida lebih merata. Pada penggunaan media pendingin dengan larutan 1,5% NaCl didapatkan struktur mikro dengan persebaran koloni karbida yang tersebar pada batas butir sehingga memiliki bentuk yang hampir sama pada semua variasi *holding time*.



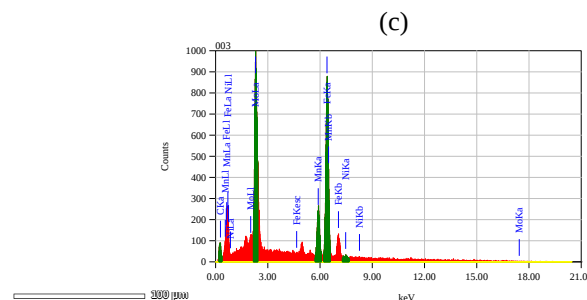
Unsur	Berat (%)
Fe	55,23
C	1,12
Mn	14,94
Mo	28,05
Ni	0,64



Unsur	Berat (%)
Fe	51,38
C	2,82
Mn	14,85
Mo	30,49
Ni	0,42

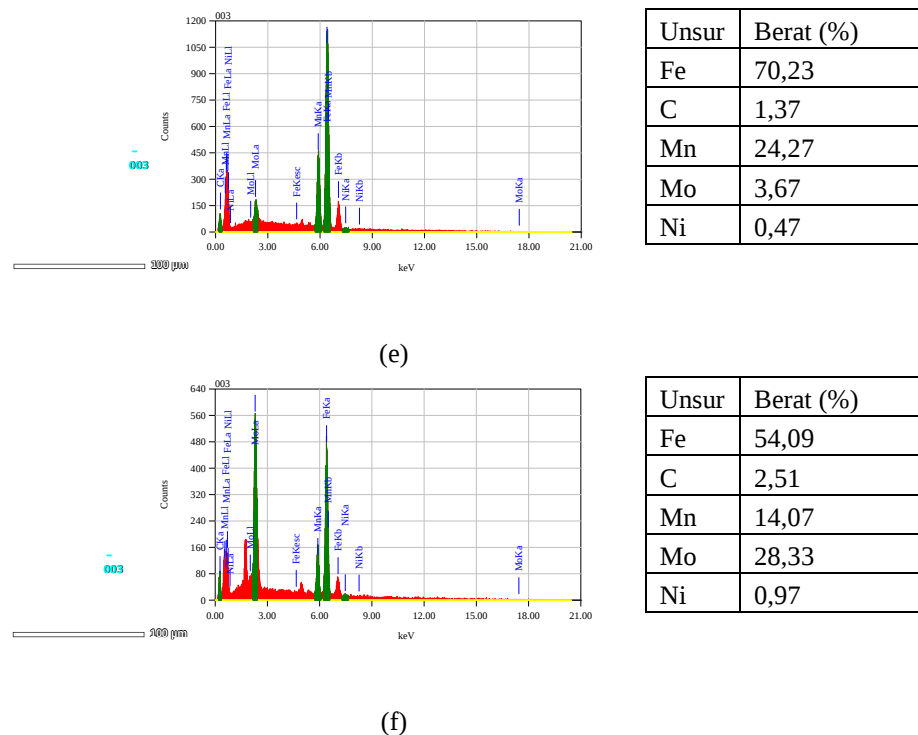


Unsur	Berat (%)
Fe	70,07
C	1,07
Mn	24,07
Mo	4,30
Ni	0,47



Unsur	Berat (%)
Fe	55,99
C	0,80
Mn	14,31
Mo	27,89
Ni	0,98

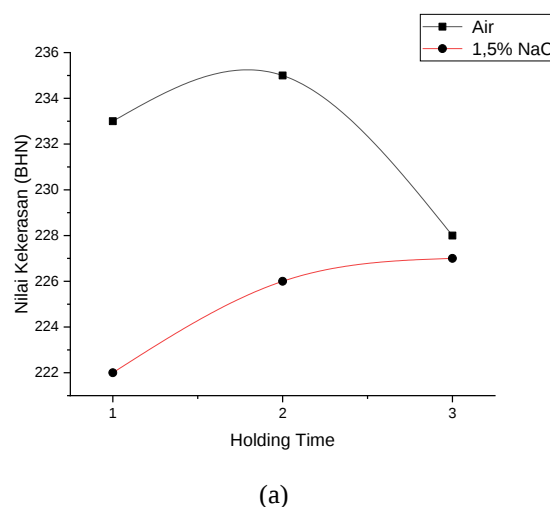
(d)



Gambar 3: Hasil SEM-EDS pengamatan morfologi paduan baja Fe-10.5Mn-1.3Mo-2.5Ni, (a) 1 Jam-Air; (b) 2 Jam-Air; (c) 3 Jam-Air; (d) 1 Jam-1.5% NaCl; (e) 2 Jam-1.5% NaCl; dan (f) 3 Jam-1.5% NaCl

Hasil pengamatan pada SEM-EDS pada Gambar 3 memperlihatkan morfologi dari masing-masing spesimen yang berbeda tetapi memiliki karakteristik yang hampir sama, dimana morfologi karbida pada media pendingin air memiliki ukuran yang lebih besar dan berkoloni, sedangkan pada media pendingin 1,5% NaCl ukuran karbida lebih kecil dan tersebar secara acak. Pada spesimen dengan pendingin air memiliki fasa austenit yang bersifat lebih keras daripada dengan media pendingin 1,5% NaCl. Dari penelitian sebelumnya kecepatan pendinginan mempengaruhi pembentukan matrik fasa austenit [1]. Proses kecepatan dalam proses pendinginan cepat mempengaruhi dan memperlambat terbentuknya matrik-matrik karbida pada spesimen seperti pada Gambar 3.

3.2 Hasil Pengujian Kekerasan

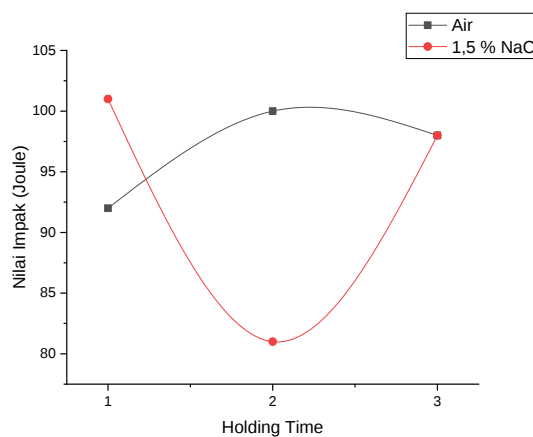


Gambar 4: Hasil nilai kekerasan Brinell terhadap *holding time*

Dari Gambar 4. menunjukkan hasil pengujian kekerasan dengan nilai tertinggi pada spesimen *holding time* 2 jam media pendingin air dengan nilai 235 BHN, dan nilai terendah pada spesimen *holding time* 1 jam media pendingin larutan 1,5% NaCl dengan nilai 222 BHN. Pada proses pendinginan media air, nilai

kekerasan meningkat dari *holding time* 1 jam ke *holding time* 2 jam dan menurun pada *holding time* 3 jam. Menurunnya nilai kekerasan dapat disebabkan oleh distribusi karbida pada sampel pada *holding time* 3 jam yang menunjukkan jumlah lebih sedikit dibandingkan dengan sampel pada *holding time* 1 jam (Gambar 3.a.) dan *holding time* 2 jam (Gambar 3.b.). Keberadaan dan distribusi karbida tersebut sangat berkaitan dengan lamanya waktu tahan pada temperatur austenisasi yang diterima material yang mana semakin lama waktu tahan yang diterima, maka akan semakin sedikit presipitasi karbida yang muncul [15]. Selain itu, dari hasil pengujian SEM-EDS diperoleh bahwa terjadi penurunan jumlah konsentrasi karbon dan molybdenum di dalam karbida pada *holding time* 3 jam yaitu sebesar 1,07% dan 4,30%, berturut-turut dibandingkan dengan pada *holding time* 2 jam dan 3 jam. Hal ini karena terdapat perbedaan unsur molybdenum sebagai unsur pembentuk karbida [1,16]. Sedangkan pada proses pendinginan cepat 1,5% NaCl menunjukkan nilai kekerasan yang perlahan meningkat diikuti dengan semakin lama proses *holding time* pada spesimen.

3.2 Hasil Pengujian Impak

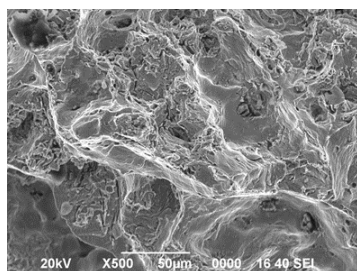


(b)

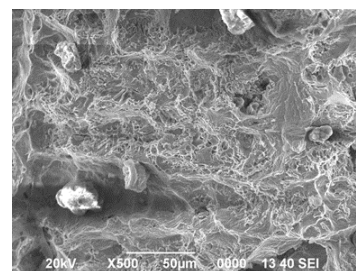
Gambar 5: Hasil nilai kekuatan impact terhadap *holding time*

Nilai impact dapat dilihat dari energi yang terserap pada spesimen selama pembebanan pada saat proses terjadinya impact hingga material tersebut putus atau patah [17,18]. semakin besar energi yang terserap maka semakin tangguh dan mengalami patah getas [19,20]. Pada Gambar 5 menunjukkan nilai kekuatan impact tertinggi dihasilkan pada spesimen dengan *holding time* 1 jam yang didinginkan pada media pendingin larutan 1,5% NaCl dengan nilai 101 Joule, sementara nilai terendah dihasilkan pada spesimen dengan *holding time* 2 jam diikuti pendinginan menggunakan media pendingin larutan 1,5% NaCl dengan nilai 81 Joule. Pada proses pendinginan media air, hasil nilai impact meningkat dari *holding time* 1 jam ke *holding time* 2 jam, kemudian menurun pada *holding time* 3 jam. Sedangkan pada *holding time* 1 jam 1,5% NaCl menghasilkan nilai impact tertinggi, namun terjadi penurunan pada *holding time* 2 jam 1,5% NaCl dan selanjutnya meningkat kembali pada *holding time* 3 jam 1,5% NaCl. Nilai impact pada *holding time* 1 jam larutan 1,5% NaCl dengan nilai tertinggi menunjukkan bahwa material tersebut bersifat ulet. Sedangkan nilai terendah pada spesimen *holding time* 2 jam media pendingin larutan 1,5% NaCl material itu lebih getas.

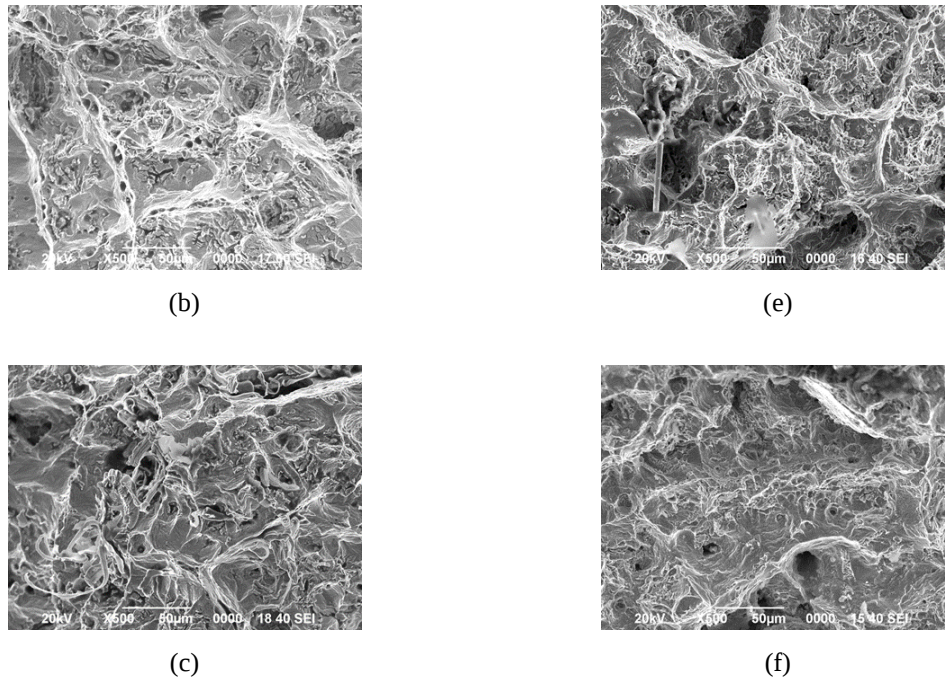
3.3 Bentuk Patahan



(a)



(d)



Gambar 6: Hasil pengamatan SEM bentuk-bentuk patahan pada spesimen uji impak, ((a) 1 Jam-Air; (b) 2 Jam-Air; (c) 3 Jam-Air; (d) 1 Jam-1.5% NaCl; (e) 2 Jam-1.5% NaCl; dan (f) 3 Jam-1.5% NaCl

Bentuk patahan terdiri dari bentuk dimple. Pada Gambar 6 merupakan data pendukung untuk memperlihatkan bahwa baja Fe-10.5Mn-1.3Mo-2.5Ni masih memiliki sifat keuletan. Hasil bentuk patahan pengamatan dengan SEM pada spesimen *holding time* 2 jam media pendingin air berwarna putih terang menandakan material tersebut bersifat getas, sedangkan pada spesimen *holding time* 1 jam media pendingin 1,5% NaCl berwarna lebih gelap dan terlihat serabut tipis yang berarti bersifat ulet, maka material tersebut dapat menyerap energi hingga material tersebut menjadi patah [21]. Dengan meningkatnya nilai kekerasan maka semakin rendah nilai impaknya. Penggunaan larutan 1,5% NaCl mampu meningkatkan laju proses pendinginan sehingga mengurangi potensi terbentuknya matrik karbida, yang mengakibatkan meningkatnya nilai ketangguhan pada spesimen baja.

4. KESIMPULAN

Baja mangan Fe-10.5Mn-1.3Mo-2.5Ni merupakan baja karbon tinggi dengan kandungan nilai karbon 1,48 % berdampak nilai kegetasannya tinggi. Media pendingin memiliki faktor penentu dalam pengaruhnya terhadap laju pendinginan sehingga mempengaruhi nilai kekerasan pada paduan baja Fe-10.5Mn-1.3Mo-2.5Ni. Nilai kekerasan tertinggi pada spesimen *holding time* 2 jam media pendingin air dengan nilai 235 BHN, dan nilai terendah pada spesimen *holding time* 1 jam media pendingin larutan 1,5% NaCl dengan nilai 222 BHN. Nilai impact tertinggi pada spesimen *holding time* 1 jam media pendingin larutan 1,5% NaCl dengan nilai 101 Joule, serta nilai terendah pada spesimen *holding time* 2 jam media pendingin larutan 1,5% NaCl dengan nilai 81 Joule. Unsur molybdenum mempengaruhi nilai kekerasan pada spesimen baja, ketidaksempurnaan pada proses perlakuan panas menyebabkan nilai ketangguhan baja menurun.

5. PERNYATAAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia yang telah memberikan pendanaan program Prioritas Nasional (PN)-LIPI serta semua tim peneliti serta teknisi yang membantu sehingga penelitian ini dapat berjalan sesuai rencana dengan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] RIDLO, F. M., PARISTIAWAN, P. A., UTAMA, D. P. and CITRAWATI, F., "Study on the effect of solution treatment soaking time on structure development of modified FeNiMn steels", *Proc. 3rd Int.*

- Semin. Metall. Mater. Explor. New Innov. Metall. Mater*, v. 2232, p. 060008, April. 2020.
- [2] RIDLO, F. M., PARISTIAWAN, P. A. and PRASETYO, M. A., "Pengaruh Variasi Holding Time dan Media Pendingin Pada Proses Solution Treatment Terhadap Kekerasan dan Ketangguhan Paduan Baja Fe12Mn1,5Mo", *J. Met. Indones*, v. 42, no. 2, 2020.
 - [3] SOBULA, S., "Effect of Heat Treatment on Change Microstructure of Cast High-manganese Hadfield Steel with Elevated Chromium", *Arch. Foundry Eng*, October. 2018.
 - [4] HIDAYAT, E. and BANDANADJAJA, B., "Peningkatan Nilai Impak Baja Hadfield Mn 12 Melalui Proses Perlakuan Panas Homogenisasi Bertahap", *J. Energi dan Teknol. Manufaktur*, v. 01, no. 02, pp. 9–14, 2018.
 - [5] WANG, M., JIANG, M., and CEM, C., "Manganese micro-segregation governed austenite re-reversion and its mechanical effects", *Scr. Mater*, v. 179, pp. 75–79, 2020.
 - [6] JAFARIAN, H. R., SABZI, M., ANIJAN, S. H. M., EIVANI, A. R., and PARK, N., "The influence of austenitization temperature on microstructural developments , mechanical properties , fracture mode and wear mechanism of Hadfield high manganese steel", *J. Mater. Res. Technol*, v. 10, pp. 819–831, 2020.
 - [7] OKECHUKWU, C., DAHUNSI, O. A., OKE, P. K., and OLUWOLE, I., "Prominence of Hadfield Steel in Mining and Minerals Industries : A Review", *Int. J. Eng. Technol*, November. 2017.
 - [8] NURJAMAN, F., BAHFIE, F., and ASTUTI, W., "The effect of solid solution treatment on the hardness and microstructure of", *J. Phys. Conf. Ser*, April. 2017.
 - [9] KUMAR, A., "Reducing the Time of Heat Treatment Cycle of the Manganese Steel", *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng*, no. 12, pp. 89–91, 2019.
 - [10] BANERJEE M. K., and NATIONAL, M., "2.8 Heat Treatment of Commercial Steels for Engineering Applications", Elsevier Ltd., v. 2, 2017.
 - [11] KOWALSKA, J., RY, J., CIOS, G., and BEDNARCZYK, W., "The effect of reduced temperatures on microstructure development in tensile tested high-manganese steel", *Mater. Sci. Eng. A*, v. 767, September. 2019.
 - [12] AYADI S., and HADJI, A., "Effect of Chemical Composition and Heat Treatments on The", *Int. J. Met.*, June. 2020.
 - [13] SU, G., *et al.*, "New insights into the corrosion behaviour of medium manganese steel exposed to a 1,5% NaCl solution spray", *Constr. Build. Mater*, v. 261, p. 119908, 2020.
 - [14] FALODUN, O. E., OKE, S. R., OKORO, A. M., and OLUBAMBI, P. A., "Materials Today : Proceedings Characterization of cast manganese steels containing varying manganese and chromium additions", *Mater. Today Proc*, no. xxxx, pp. 12–15, 2020.
 - [15] TURNIP, K., "Analisis Pengaruh Holding Time Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Pada Proses Induction Tempering Batang Piston Baja SCM 420 H", *J. Rekayasa Mesin*, v. 9, no. 3, pp. 235–239, 2018.
 - [16] GRAMLICH, A., VAN DER LINDE, C., ACKERMANN, M., and BLECK, W., "Results in Materials Effect of molybdenum, aluminium and boron on the phase transformation in 4 wt. % manganese steels", *Results Mater*, v. 8, p. 100147, October. 2020.
 - [17] KIM, B., *et al.*, "Effects of Ni and Cu addition on cryogenic-temperature tensile and Charpy impact properties in austenitic 22Mn-0.45C-1Al steels", *J. Alloys Compd*, v. 815, p. 152407, 2020.
 - [18] GE, S., WANG, Q., and WANG, J., "The impact wear-resistance enhancement mechanism of medium manganese steel and its applications in mining machines", *Wear*, v. 376–377, pp. 1097–1104, 2017.
 - [19] TAKASHIMA, Y., "Fracture toughness evaluation for dissimilar steel joints by Charpy impact test", *Weld. World*, pp. 1243–1254, 2019.
 - [20] PARISTIAWAN, P. A., PUSPASARI, V., PRAMONO, A. W., and ADJANTORO, B., "Pengaruh variasi presentase reduksi pada proses pengerolan panas terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja laterit", *J. Rekayasa Mesin*, pp. 297–305, March. 2020.
 - [21] JABŁOŃSKA, M. B., and KOWALCZYK, K., "Microstructural aspects of energy absorption of high manganese steels for capacity optimization in Industry 4.0 : Trade-off B ", *Procedia Manuf*, v. 27, pp. 91–97, 2019.