

PENGARUH WAKTU *MILLING* PADUAN FE-C TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN DENGAN METODE PADUAN *MECHANICAL ALLOY*

Muksim¹, Sutrisna^{2,*}, Didit Setyo Pamuji³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta
Jl. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281

Corresponding author: sutrisna@itny.ac.id.

Abstract

Powder metallurgy technology using mechanical alloying (MA) is a method of synthesizing alloys by mixing several metal/element powders through milling, pressing, and heat treatment processes. This research uses Fe and C powders with MA method to produce Fe-C alloy. The purpose of this research is to determine the effect of milling time variation (4, 8, and 12 hours) and annealing resistance time (1, 1.5, 2 hours) at 900°C with alloy composition of 98%wt Fe and 2%wtC by mechanical alloying method. The tests carried out were microstructure and hardness tests. In Fe-C powder alloys after 12 hours of milling the distribution of elements is evenly distributed and the grain size is small or fine. Fe-C alloy after 900 °C heating shows that the spread of the elements is more evenly distributed. In addition, the Fe-C alloy with a milling time of 12 hours and a holding time of 2 hours has a higher hardness of 580.3 kg/mm² compared to milling times of (4, 8, 12 hours and annealing holding times of (1, 1.5 and 2 hours). The results of this study indicate that milling time treatment can increase the hardness produced by high-energy ball milling resulting in an increase in the hardness value of the alloy.

Keywords: *Fe-C alloy, mechanical alloy, milling, annealing, hardness, microstructure.*

Abstrak

Teknologi metalurgi serbuk menggunakan *mechanical alloying* (MA) merupakan metode sintesis paduan dengan cara mencampur beberapa serbuk logam/unsur melalui proses *milling*, *press*, dan *heat treatment*. Penelitian ini menggunakan serbuk Fe dan C dengan metode MA untuk menghasilkan paduan Fe-C. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi waktu *milling* (4, 8, dan 12 jam) dan waktu tahan anil (1, 1,5, 2 jam) pada suhu 900°C dengan komposisi paduan 98%wt Fe dan 2%wtC dengan metode paduan mekanik. Pengujian yang dilakukan adalah uji struktur mikro dan kekerasan. Pada paduan serbuk Fe-C setelah 12 jam penggilingan penyebaran unsurnya sudah merata dan ukuran butirnya sudah kecil atau halus. Paduan Fe-C setelah dilakukan pemanasan 900°C menunjukkan bahwa penyebaran elemen-elemennya sudah semakin merata. Selain itu paduan Fe-C dengan waktu *milling* 12 jam dan waktu tahan selama 2 jam memiliki kekerasan yang lebih tinggi yaitu 580,3 kg/mm² dibandingkan dengan waktu *milling* (4, 8, 12 jam) dan waktu tahan anil selama 1, 1,5 dan 2 jam. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan waktu *milling* dapat meningkatkan kekerasan yang dihasilkan oleh penggilingan bola yang berenergi tinggi sehingga mengakibatkan peningkatan pada nilai kekerasan paduan.

Pengaruh waktu milling paduan Fe-C terhadap struktur mikro dan kekerasan dengan metode paduan mekanik

Kata Kunci : Paduan Fe-C, paduan mekanik, *milling*, proses pemanasan kekerasan, struktur mikro

PENDAHULUAN

Material teknik dapat digolongkan dalam kelompok logam dan bukan logam. Selain dua kelompok tersebut ada kelompok lain yang dikenal dengan nama metaloid (menyerupai logam) yang sebenarnya termasuk bahan bukan logam. Logam dapat digolongkan dalam kelompok logam ferro, dan logam non ferro (Joubori, 2014). Teknik paduan (MA) merupakan salah satu metode yang memungkinkan diperoleh material nanokristalin yang seragam dan homogen. MA terbukti menjadi teknik yang efisien dan efektif untuk sintesis serbuk Fe-C berstruktur nano dalam jumlah besar (Joubori, 2018).

Mechanical alloying (MA), karena *mechanical alloying* ini yang mempengaruhi variabel yang banyak yaitu waktu *milling*, pengepresan, pemanasan setelah di press. Dalam hal ini meneliti hanya pada variasi waktu *milling*. Umumnya menggunakan pengecoran, tetapi untuk logam pada paduan Fe-C ini tidak memungkinkan dibuat dengan cara peleburan atau pengecoran karena titik didih nya sangat berbeda jauh, oleh karena itu proses manufaktur ini untuk pembuatan paduan menggunakan *mechanical alloying* (MA) yang tanpa perlu meleburkan atau mencapai titik lebur dari masing-masing unsur tersebut (Chen, 2013).

Besi (Fe) merupakan logam deret transisi pertama. Ini adalah unsur paling utama di bumi berdasarkan massa, membentuk sebagian besar bagian inti luar dan dalam bumi. Unsur besi (Fe) merupakan pengotoran yang sering ditemukan pada aluminium. Fe berpengaruh positif dalam meningkatkan kekuatan dan ketahanan terhadap retak panas (Khosher, 2013). Akan tetapi Fe memiliki pengaruh negatif menurunkan keuletan dan mengurangi sifat mampu alir. Namun dalam persentasi tertentu, Fe sebagai paduan dapat meningkatkan kekerasan, sebaliknya juga mempunyai efek samping seperti meningkatkan kegetasan. Di kehidupan sehari-hari kita pasti pernah melihat logam mengalami proses pengkaratan. Proses pengkaratan umumnya terjadi pada logam ferrous atau logam yang mengandung unsur Fe (besi), seperti pagar rumah, jembatan dan kaleng. Karat ini nampak seperti lapisan berwarna coklat kekuningan di permukaan logam. Karat merupakan hasil korosi yaitu hasil proses oksidasi logam apabila didiamkan pada udara yang lembab.

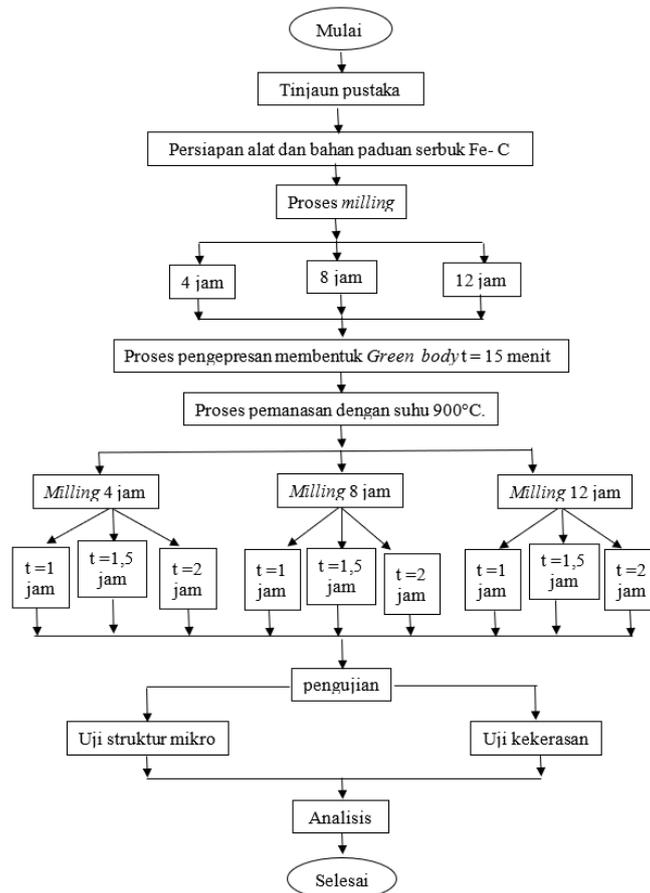
Karbon (C) merupakan unsur terpenting yang dapat meningkatkan kekerasan pada baja. Kandungan karbon di pada baja sekitar 0,1%-1,7%, sementara unsur lainnya dibatasi sesuai dengan kegunaan baja. Unsur paduan yang tercampur di dalam baja berfungsi untuk memberi bereaksi pada baja terhadap pengerjaan panas dan menghasilkan sifat-sifat yang khusus. Karbon dalam baja dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan tetapi jika berlebihan akan menurunkan ketangguhannya (Rochman, 2008). *Mechanical alloying* (MA) – paduan mekanis adalah proses pengolahan *solid-state* serbuk dengan teknik pengulangan penggabungan, penghancuran, dan penggabungan kembali untuk butiran serbuk pada *high energy ball milling* (HEM). MA dapat digunakan untuk sintesis larutan padatan, nano partikel, paduan *amorf*, *intermetalik*, dan komposisi kimia (Upadhaya, 2002).

Kecepatan proses *milling* dalam pembentukan fasa sangat bergantung pada kecepatan putar dan lamanya proses *milling* dilakukan. Panas yang timbul sebagai efek gesekan antara vial dan bola-bola yang digunakan perlu mendapat perhatian khusus karena akumulasi dari panas tersebut dapat mempercepat pertumbuhan butiran kristal (Sialagan, 2002). Oleh sebab itu optimalisasi dalam proses pembentukan fasa paduan intermetalik dapat dicapai dengan mempertimbangkan antara kecepatan putar dan lama proses. Pemilihan bahan vial maupun bola yang tepat dapat mengurangi tingkat kandungan unsur-unsur pengotor (*impurity*) berasal dari bahan tersebut yang pada akhirnya dapat mengurangi unjuk kerja bahan yang dihasilkan. Namun hasil yang cukup penting untuk dicatat disini bahwa keberhasilan dalam sintesis bahan

ini mendorong untuk lebih meningkatkan lagi kegiatan penelitian dalam bahan-bahan nanokristalin terutama yang bersifat magnetik (Suryanarayana, 2001).

Metode paduan mekanik adalah reaksi padatan dari beberapa unsur logam dengan memanfaatkan proses deformasi untuk membentuk suatu paduan (Zhang, 2005; Zuhailawati, 2010). Pada penelitian ini dibuat paduan Fe-C dengan proses *milling* dengan varian waktu *milling* selama 4 jam, 8 jam dan 12 jam. Proses *milling* sangat efektif untuk mencegah terjadinya oksidasi dan juga memicu pembentukan paduan Fe-C dengan baik.

METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Ada beberapa alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah :

Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Mesin *ball milling*
- Mesin pres
- Mesin *furnace*
- Timbangan digital
- Alat uji kekerasan
- Alat uji struktur mikro

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan :

- *Powder* Fe-C dengan kemurnian 95,5% dan ukuran 1-50 mikron.

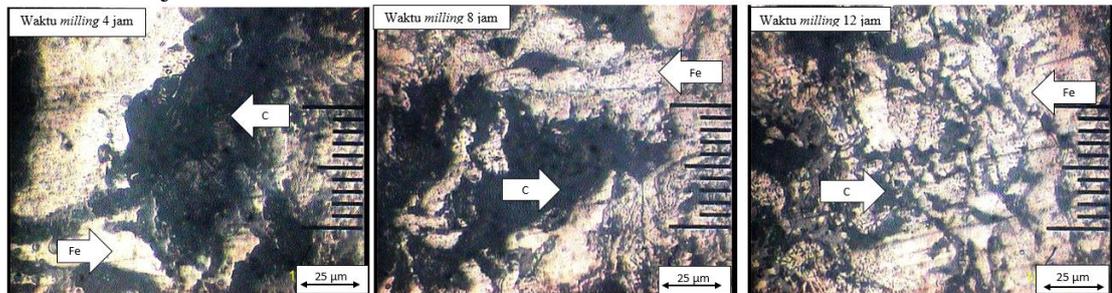
Bahan Pendukung

- Amplas grit 400, 600, 800, 1000, 1500 mesh.

- Resin dan katalis.
- *Metal polish* merek Autosol.
- Larutan HNO₃ (asam nitrat) digunakan untuk bahan etsa.
- Kain bludru.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Struktur Mikro Waktu tahan anil 1 jam



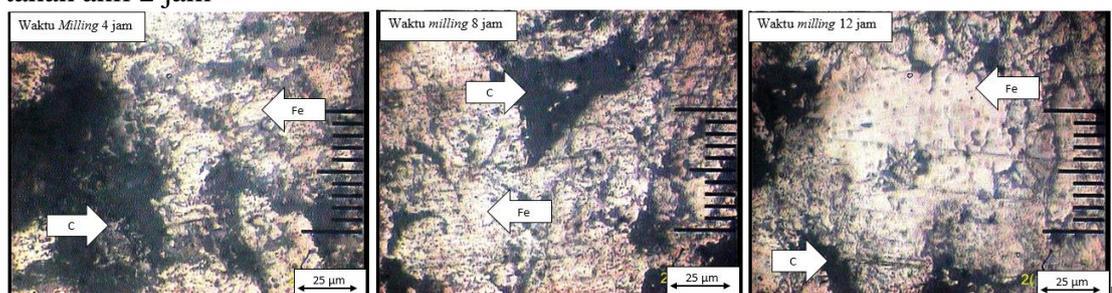
Gambar 2. Struktur mikro paduan Fe-C dengan suhu pemanasan 900°C dan ditahan selama 1 jam setelah di *milling* 4 jam, 8 jam, dan 12 jam.

Waktu tahan anil 1,5 jam



Gambar 3. Struktur mikro paduan Fe-C dengan suhu pemanasan 900°C dan ditahan selama 1,5 jam setelah di *milling* 4 jam, 8 jam, dan 12 jam

Waktu tahan anil 2 jam



Gambar 4. Struktur mikro paduan Fe-C dengan suhu pemanasan 900°C dan ditahan selama 2 jam setelah di *milling* 4 jam, 8 jam, dan 12 jam.

Berdasarkan hasil pengamatan foto struktur mikro pada paduan serbuk Fe-C dengan perbesaran 200x, unsur Besi (Fe) cenderung lebih putih, untuk unsur karbon (C) terlihat lebih gelap yang terkandung pada paduan Fe-C. Berdasarkan hasil pengamatan foto struktur mikro pada spesimen paduan serbuk Fe-C pada waktu tahan 1 jam dapat kita lihat pada gambar 2 dengan waktu *milling* 4 jam terlihat bahwa penyebaran elemen-elemennya belum merata dan ukuran butir dari elemen masing masing belum sempurna. Hal ini dikarenakan pada waktu 4 jam belum mencukupi waktu elemen-elemennya pada Fe-C menjadi kecil, setelah waktu *milling* dinaikan dari 4 jam ke 8 jam sebagaimana dilihat pada gambar 2 terlihat belum terjadi

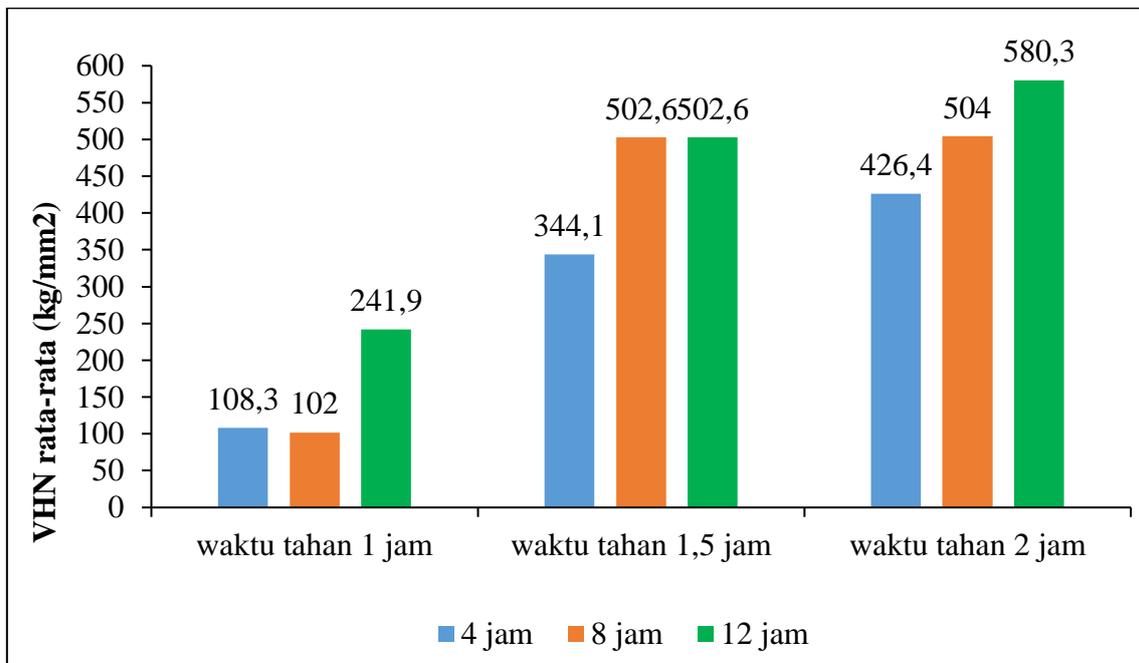
perubahan yang signifikan, pada susunan elemen dan ukuran butir. Setelah waktu *milling* dinaikin lagi menjadi 12 jam sebagaimana dilihat pada gambar 2 maka terlihat jelas bahwa susunan pada elemen-elemennya menyebar secara merata atau sempurna dan ukuran butirnya semakin halus. Hal ini menunjukkan bahwa proses *milling* 12 jam dengan pemanasan pada suhu 900°C dan di tahan selama 1 jam sudah terbentuk larutan padat (*solid solution*).

Berdasarkan hasil pengamatan foto struktur mikro pada spesimen paduan Fe-C dengan waktu tahan 1,5 jam dapat dilihat pada gambar 3 dengan waktu *milling* 4 jam sebagaimana dapat dilihat bahwa penyebaran unsur paduannya belum merata dan ukuran butirnya belum sempurna. Hal ini dikarenakan pada waktu *milling* 4 jam belum mencukupi waktu elemen-elemennya pada paduan Fe-C menjadi kecil, setelah waktu *milling* dinaikan dari 4 jam ke 8 jam dapat dilihat pada gambar 3 susunan elemennya masih menggumpal pada daerah tertentu dan ukuran butirnya masih sama kecil. Setelah waktu *milling* dinaikin menjadi 12 jam dapat dilihat pada gambar 3 maka terlihat jelas bahwa susunan pada elemennya menyebar secara merata dan ukuran butirnya semakin kecil atau semakin halus, namun terjadi oksidasi. Hal ini menunjukkan bahwa proses *milling* 12 jam dengan pemanasan pada suhu 900°C dan di tahan selama 1,5 jam sudah terbentuk larutan padat (*solid solution*).

Berdasarkan hasil pengamatan foto struktur mikro paduan serbuk Fe-C dengan waktu tahan 2 jam sebagaimana dilihat bahwa pada gambar 4 dengan waktu *milling* 4 jam dan waktu *milling* 8 jam bahwa penyebaran unsur besi (Fe) mendominasi dan penyebarannya tidak merata, masih mengumpul pada daerah tertentu. Hal ini dikarenakan pada waktu *milling* 4 jam belum mencukupi elemen pada paduan Fe-C menjadi kecil atau halus, terlihat jelas perubahan dan susunan elemennya semakin sempurna dan terjadi ukuran butirnya sudah terlihat halus. Setelah waktu *milling* dinaikin menjadi 12 jam dan dipanaskan dengan suhu 900°C dan di tahan selama 2 jam dapat dilihat pada gambar 4 maka terlihat jelas bahwa hasilnya semakin merata.

Dari hasil pengujian struktur mikro diatas dapat disimpulkan bahwa proses waktu *milling* 12 jam dengan suhu pemanasan 900°C dengan waktu tahan 2 jam dapat dilihat bahwa penyebaran unsur paduan Fe-C sudah merata dan terjadi hasil yang lebih merata.

Hasil Uji Kekerasan



Gambar 5. Diagram batang nilai kekerasan rata-rata paduan Fe-C

Pada keterangan pada diagram batang menunjukkan bahwa hasil pengujian kekerasan yang menggunakan metode kekerasan *vickers* dengan beban 200 gf. Pengukuran kekerasan mikro paduan serbuk Fe-C pada waktu *milling* yang berbeda yaitu 4,8, dan 12 jam dan waktu tahan anil 1 jam, 1,5 jam dan 2 jam. Setiap spesimen dilakukan pengujian pada 3 titik yang berbeda. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa pada waktu penahan 1 jam nilai kekerasannya tidak stabil dengan menambahkan waktu *milling*, dari waktu *milling* 4 jam dengan nilai kekerasannya 108,3 kg/mm² pada saat waktu *milling* dinaikin menjadi 8 jam kekerasannya menurun menjadi 102 kg/mm². Namun pada waktu *milling* 12 jam kekerasannya meningkat menjadi 241,9 kg/mm². Dapat disimpulkan bahwa distribusi fase Fe-C tidak seragam pada tahap awal proses pemanasan dengan suhu 900°C dan waktu tahan 1 jam, namun struktur mikro yang homogen penghalusan butir dan pengerasan kerja yang tinggi dapat dilihat pada waktu *milling* paling lama.

Pada waktu penahanan 1,5 jam nilai kekerasan meningkat dengan menambahkan waktu *milling*, mulai dari waktu *milling* 4 jam dengan nilai kekerasannya 344,1 kg/mm² pada saat waktu *milling* di naikan nilai kekerasan meningkat menjadi 502,6 kg/mm². Namun pada saat waktu *milling* di naikan menjadi 12 jam tingkat kekerasannya tetap 502,6 kg/mm². Dapat disimpulkan bahwa distribusi fase Fe-C seragam pada tahap awal proses pemanasan dengan suhu 900°C dan waktu tahan 1,5 jam, namun struktur mikro yang homogen penghalusan butir dan pengerasan kerja yang tinggi dapat dilihat pada waktu *milling* 8 jam dan 12 jam. Pada waktu penahanan 2 jam nilai kekerasannya meningkat dapat dilihat dari waktu *milling* 4 jam nilai kekerasan 426,4 kg/mm² pada saat waktu *milling* dinaikan menjadi 8 jam nilai kekerasannya menurun ke 504 kg/mm². Namun pada saat waktu *milling* dinaikan menjadi 12 jam nilai kekerasannya menurun menjadi 580,3 kg/mm².

Pada gambar 3 diagram batang diatas dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu *milling* maka semakin menemukan perubahan kekerasan yang di hubungkan dengan struktur mikro dan dapat ditemukan perubahan kepadatan atau kekerasan pada spesimen. Kekerasan akan terus meningkat dibandingkan dengan waktu *milling* 4 jam dan waktu tahan 1 jam disebabkan oleh perubahan ukuran struktur pada spesimen.

KESIMPULAN

Paduan Fe-C berhasil dibuat dengan metode paduan mekanik menggunakan waktu *milling* 4 jam, 8 jam dan 12 jam, kemudian dipres, dilanjutkan proses pemanasan pada suhu 900°C dengan variasi waktu tahan anil 1 jam, 1,5 jam dan 2 jam. Pada serbuk Fe-C setelah 12 jam penggilingan susunan elemennya menyebar secara merata dan ukuran butirnya semakin kecil atau semakin halus. Setelah dilakukan pemanasan dengan suhu 900°C dan waktu tahan selama 2 jam hasil foto struktur mikronya semakin merata. Komposisi yang digunakan pada paduan ini adalah Fe 98% wt dan C 2% wt.

Berdasarkan hasil uji kekerasan terhadap spesimen uji dari paduan serbuk Fe-C diperoleh harga kekerasan tertinggi sebesar 580,3 kg/mm² pada spesimen dengan waktu *milling* 12 jam yang dilanjutkan dengan pemanasan pada suhu 900°C ditahan selama 2 jam. Hal ini menunjukkan bahwa proses *milling* 12 jam dan dilanjutkan proses pemanasan pada temperatur 900°C dan waktu tahan selama 2 jam sudah terbentuk larutan padat (*solid solution*)

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua yang telah membantu dan yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

REFERENSI

Al-Joubori, A. A. & S., 2014. Synthesis Of Fe-C Alloy By Mechanical Alloying. Materials Science and Technology (MS&T) .

- Al-Joubori, A. A. & Suryanarayana, C., 2018. Synthesis and Thermal Stability of Homogeneous Nanostructured Fe₃C. Springer Nature.
- Chen, Y. Z. et al., 2013. Nanocrystalline Fe–C Alloys Produced by Ball *Milling* of Iron. *Acta Materialia* 61.
- G. S. Upadhyaya, 2002. “powder Metallurgy Technology, First”. India : Cambridge International Science.
- J. B. R. A. Kohser, 2012. “Materials and Processes in Manufacturing, Eleventh e, vol. 1, no. 69. Jhon Wiley&Sons, inc”.
- Rochman , N. T., 2008. *Mechanical Alloying of Fe-C System Based Alloy*. Indonesian Journal of Physics, Volume Vol 19 , p. 3.
- Sialagan, P. & Manaf, A., 2002. Studi Transformasi Fasa Sistem Besi Karbon Dengan Pengamatan Thermal Diferensial. ResearchGate.
- Suryanarayana, C., 2001. Mechanical alloying and *milling*. *Progress in Materials Science* 46, pp. 1-184.
- Zhang, H. W., dkk 2005. Fabrication of Bulk Nanocrystalline Fe-C Alloy by Spark Plasma Sintering of Mechanically Milled Powder. *Sripta Materialia* S3.
- Zuhailawati, H., dkk 2010. Microstructure and Hardness Characterization of Mechanically Alloyed Fe–C Elemental Powder Mixture. *Materials and Design*.