

PENGARUH WAKTU *MILLING* TERHADAP UKURAN BUTIR *FORSTERITE* (Mg_2SiO_4) DARI BATUAN DUNIT DI DAERAH JORONG TONGAR NAGARI AUR KUNING, KABUPATEN PASAMAN BARAT

Vera Firmansari¹⁾ Ratnawulan²⁾ Ramli²⁾ Ahmad Fauzi²⁾

¹⁾Mahasiswa Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang

²⁾Staf Pengajar Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang
vfirmsari@yahoo.com

ABSTRACT

Dunit made with material engineering techniques will bring up a new phase is forsterite. Forsterite has economic value. Forsterite in the formed nanoparticle size can be used as a coating material in the iron and steel melting place because the size of the nano has properties very strong, hard, and resistant to corrosion. The purpose of this study was to investigate the influence of milling time on grain size forsterite of rock dunit. Type of research is experiment. Method of research is forsterite synthesized by mechanical activation using the High Energy Milling 3D Ellipse to obtain nano grain size of forsterite. The results of the milling characterized using X-Ray Diffraction and Scanning Electron Microscope. The results of this study show the crystal structure that is formed during the milling time 5 hours, 10 hours, 20 hours, 40 hours is orthorhombic. Result of Scanning Electron Microscope the grain size of nanoparticle forsterite for variation milling 5 hours, 10 hours, 20 hours, and 40 hours are 630 nm, 717 nm, 454 nm dan 354 nm.

Key words : *Dunit, forsterite, nanoparticle, High Energy Milling, X-Ray Diffraction, Sanning Electron Microscope.*

PENDAHULUAN

Provinsi Sumatera Barat berpotensi memiliki bahan tambang mineral, khususnya Kabupaten Pasaman Barat yang memiliki kekayaan hasil tambang batuan dunit. Dunit yang diolah dengan teknik rekayasa material akan memunculkan fasa baru yang bernilai ekonomis yaitu *forsterite* (Mg_2SiO_4). Dalam perkembangan penelitian di bidang material saat ini, khususnya dalam skala nano sangat banyak dilakukan di seluruh dunia.

Dunit merupakan batuan yang mengandung mineral utama *olivine*, diagram fasanya menunjukkan bahwa terdiri dari dua fasa yaitu *forsterite* dan *fayalite*. Fasa *forsterite* meleleh pada suhu 1890°C dan *fayalite* meleleh pada suhu 1205°C^[1]. Dunit merupakan batuan monomineralik ultrabasik yang terkandung banyak *olivine*. Dunit mengandung 36-42 % MgO dan 36-39 % SiO_2 . *Olivine* merupakan sumber komersial dari kombinasi magnesia dengan silika yang digunakan pada metalurgi. Kandungan tersebut akan meningkat jika dipengaruhi peningkatan suhu^[2].

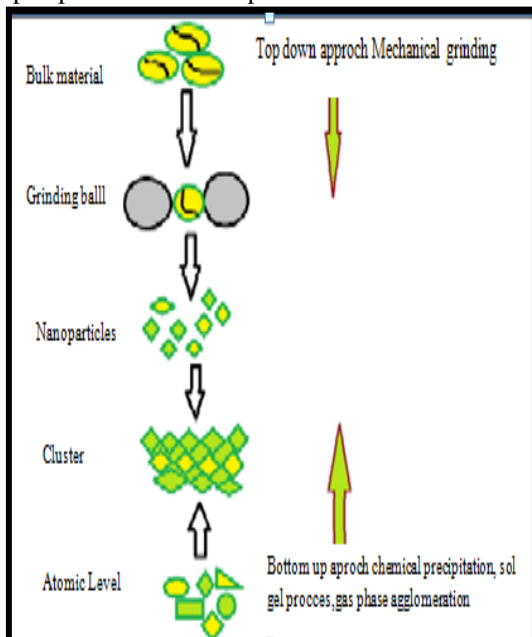
Material nanopartikel adalah material yang memiliki ukuran butirnya kecil dari 100 nm^[3]. Material nanopartikel memiliki sejumlah sifat kimia dan fisika yang lebih unggul dari material yang berukuran besar (*bulk*). nanopartikel *forsterite* bersifat sangat kuat, keras, dan ulet

pada suhu tinggi, serta tahan air, tahan korosi dan memiliki sifat kimia yang sangat aktif sehingga dapat digunakan pada industri besi dan baja sebagai bahan pelapis pada tempat peleburan besi dan baja. Kajian dari segi ekonomis bahan *nano forsterite* atau nanomaterial jauh lebih ekonomis dari konvensional dan bahan *nano forsterite* tersedia secara komersial^[4].

Nanopartikel memiliki sifat yang unggul dibandingkan ukuran mikro. Pada skala nano sifat-sifat mekanis, optis, serta sifat-sifat kimia dari material tersebut dapat mengalami perbedaan signifikan dengan sifat-sifat dari material berukuran mikrometer atau material mentah^[5]. Nanopartikel atau rekayasa nanomaterial merupakan teknik manipulasi material pada skala makromolekul, molekul dan atom yang memiliki perbedaan sifat-sifat signifikan dengan sifat material pada skala yang lebih luas^[6].

Nanopartikel menawarkan beberapa keuntungan yang dapat menjadi alasan dilakukannya rekayasa material. Nanopartikel ditujukan untuk optimalisasi dan efisiensi dari material, sehingga meningkat saat berukuran nano. Hal ini terjadi seiring dengan adanya peningkatan sifat-sifat dan performa material yang direkayasa^[7]. Perubahan sifat yang sering diamati pada rekayasa material nano adalah meningkatnya luas permukaan, titik leleh, reaktivitas, konduktivitas, serta kekuatan mekanik^[8].

Sintesis nanopartikel dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu secara *top down* dan *bottom up*. *Top down* merupakan pembuatan struktur nano dengan memperkecil material yang besar dengan cara aktivasi mekanik, sedangkan *bottom up* merupakan cara merangkai atom atau molekul dan menggabungkannya melalui reaksi kimia untuk membentuk nanostruktur. Contoh metode *top down* adalah penggerusan dengan alat *milling*, sedangkan teknologi *bottom up* yaitu menggunakan teknik *sol gel*, presipitasi kimia, dan aglomerasi fasa^[9]. Metode *top down* dan *bottom up* dapat diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi Mekanisme Milling Top Up Dan Top Down^[10].

Keuntungan menggunakan *milling* secara mekanik merupakan metoda yang sederhana dan efektif untuk menumbuhkan kristal padat (ukuran butiran kristal menjadi kecil) tanpa melalui reaksi kimia yang membutuhkan waktu yang lama dalam proses sintesa nanopartikel^[11].

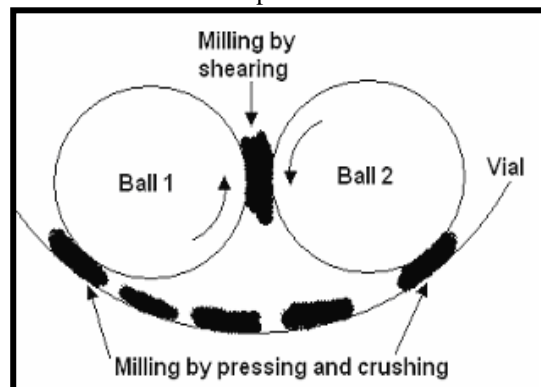
Alat yang akan digunakan untuk menjadikan nanopartikel *forsterite* adalah *High Energy Milling Ellipse 3D Motion (HEM-E 3D)*. Dengan adanya alat ini akan mempermudah untuk menjadikan *powder forsterite* dalam bentuk nanopartikel.

HEM-E3D adalah mesin untuk menghasilkan nanopartikel yang didesain dan dikembangkan para pakar nanoteknologi Indonesia melalui berbagai inovasi, test dan pengalaman. Desain *high energy ball mill* yang bergerak *ellips* secara tiga dimensi dapat meningkatkan kinerjanya menjadi lebih efisien. *High energy ball mill* ini memiliki pola gerakan ellips tiga dimensi yang mengoptimalkan tumpukan bola-bola dalam jar sehingga

meningkatkan efektifitas penghancuran dan mempersingkat waktu *milling*. Sesuai untuk pembuatan fungsional nanomaterial dalam waktu relatif singkat.

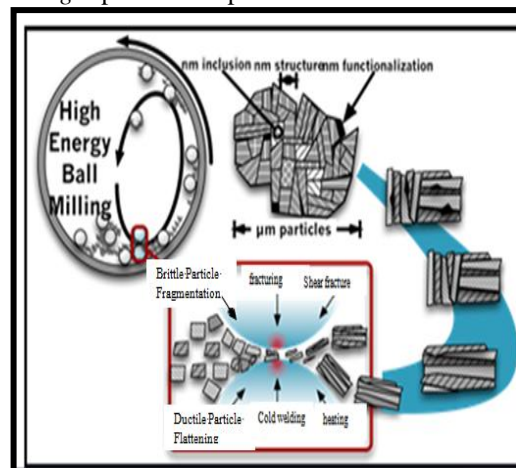
HEM-E3D dapat memproses berbagai jenis material alam, antara lain : *hard brittle*, obat-obatan, kosmetik, dan lain-lain. Konfigurasi standar *HEM-E3D* terdiri dari motor, wadah tabung (jar), system mekanik 3D, *timer* otomatis, rangka besi dengan peredam suara^[12].

Prosedur penggilingan dengan *High Energy Milling* adalah serbuk dimasukkan kedalam sebuah *chamber* logam dengan beberapa bola baja didalamnya yang bergerak berputar terus-menerus. Di dalam *chamber* logam tersebut bola-bola akan saling bertumbukan. Akibat tumbukan bola ini, maka serbuk homogen yang dimasukkan ke dalam alat ini akan tertumbuk diantara bola-bola tersebut. Hal ini mengakibatkan partikel tersebut akan pecah. Begitu seterusnya hingga mencapai ukuran yang diinginkan. Interaksi antara bola-bola yang ada di dalam *chamber* terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Interaksi antara Bola-Bola Penggiling pada High Energy Ball^[13].

Berikut ini proses yang terjadi setiap waktu *milling* diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses Milling Menggunakan HEM^[14]

Gambar 3 menggambarkan proses yang terjadi selama *milling*. Ukuran partikel akan meningkat pada waktu tertentu karena akibat *milling* partikel mengalami *agglomeration* dan *cold welding* karena proses awal dari sampel akan mengalami proses pematangan-pematahan partikel sampai berukuran kecil dan terjadi kompresi sehingga sampel menjadi gumpalan-gumpalan menjadi satu kembali sampel kemudian terjadi patahan-patahan kembali pada waktu yang lebih lama dan ukuran kristal menjadi kecil kembali hal ini disebabkan gaya *impact*, gaya atrisi, gaya gesekan, dan gaya kompresi pada proses *milling*^[15].

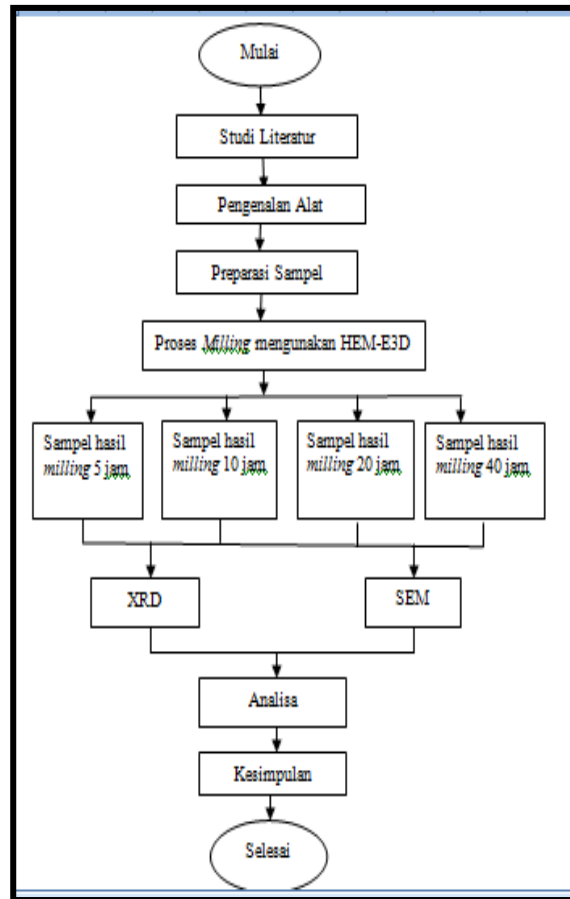
Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya terhadap nanopartikel *forsterite* menggunakan bahan sintesis dimana ketersediaan bahan yang terbatas, membutuhkan biaya yang mahal dan waktu yang lama dalam pembuatan bahan. Oleh karena itu, penting untuk melakukan penelitian tentang nanopartikel *forsterite* yang ketersediaan bahannya berasal dari bahan galian yang ada di alam, yaitu bahan yang berasal dari Batuan Dunit. Pada penelitian ini penulis ingin meneliti tentang pengaruh waktu *milling* terhadap mikrostruktur dan ukuran butir nanopartikel *forsterite* dari Batuan Dunit yang ada di Daerah Jorong Tongar Nagari Aur Kuning, Kabupaten Pasaman Barat. Di daerah ini keberadaan dunit hanya dieksploitasi dalam keadaan mentah sebagai pupuk sehingga mempunyai nilai jual yang rendah. Untuk menjadikan bahan yang memiliki nilai jual tinggi maka dijadikan bahan yang berukuran nanopartikel sehingga dapat dimanfaatkan di dunia industri besi dan baja.

Hasil *milling* tersebut akan dikarakterisasi menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD) dan morfologi nanopartikel *forsterite* akan terlihat pada hasil *Scanning Electron Microscope* (SEM).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimen menggunakan alat HEM-E 3D, SEM dan XRD, akan dikaji pengaruh waktu *milling* terhadap ukuran butir *forsterite*.

Penelitian ini dilakukan dari bulan November sampai Maret 2016 di Laboratorium Fisika Material dan Biofisika FMIPA Universitas Negeri Padang dan Laboratorium Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan Jawa Barat. Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

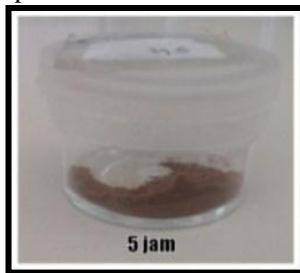
Langkah awal yang dilakukan adalah studi literatur tentang pembentukan nanopartikel dengan menggunakan metode *milling*. Setelah itu, mempersiapkan bahan dan alat yang digunakan. Tahap berikutnya yang dilakukan menimbang sampel sebanyak 2 gram dan bola-bola *milling* sebanyak 20 gram untuk setiap waktu *milling*. Jenis bola *milling* yang digunakan yaitu karbon steel yang berukuran kecil sebanyak 40 buah yang memiliki berat 0,2 per buah. Bola-bola *milling* yang berukuran sedang sebanyak 4 buah. Selanjutnya, Sampel yang telah dipreparasi kemudian dimilling menggunakan HEM-E3D dengan variasi waktu *milling* 5 jam, 10 jam, 20 jam, dan 40 jam. Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *High Energy Milling Ellipse 3D*, *X-Ray Diffraction*, *Scanning Electron Microscope*, neraca analitik, spatula, dan tempat sampel.

Variabel dalam penelitian ini dikelompokkan menjadi 3 bagian yaitu, Variabel bebas : variasi waktu *milling* yang diberikan 5 jam, 10 jam, 20 jam, 40 jam, dan 60 jam, variabel kontrol : Lamanya proses *milling* pada setiap siklus dilakukan selama 30 detik, kemudian proses dihentikan selama 1 menit untuk menghindari peningkatan suhu dan kerusakan pada alat *milling* akibat naiknya suhu motor yang terlalu tinggi,

dan variabel terikat : struktur kristal, ukuran butir kristal

Prosedur penggilingan sampel menggunakan HEM-E 3D dengan lama *milling* 5 jam sebagai berikut :

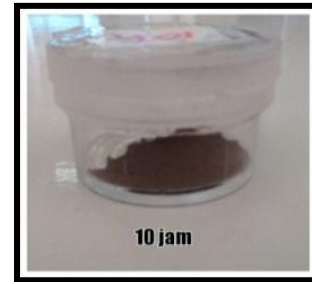
- Bubuk *forsterite* ditimbang sebanyak 2 gram, dimasukkan kedalam jar bersama bola-bola mlling.
- Setelah bubuk beserta bola-bola dimasukkan kedalam jar lalu dipasang ke HEM-E3D dengan menggunakan kunci L hingga kuat.
- Kemudian HEM-E3D dihidupkan dengan menekan tombol yang hijau atau on dan set waktu selama 5 jam dengan waktu mati atau istirahat 1 menit dan waktu hidup atau waktu jalan selama 30 detik sampai HEM-E3D off sendiri.
- Setelah selesai diambil jar yang terpasang di HEM-E3D dengan menggunakan kunci L, lalu dibuka jar dan diambil bubuk dengan menggunakan spatula kemudian dimasukkan ke wadah sampel. Hasil *milling* selama 5 jam dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Milling 5 Jam

Prosedur penggilingan sampel menggunakan HEM-E 3D dengan lama *milling* 10 jam sebagai berikut :

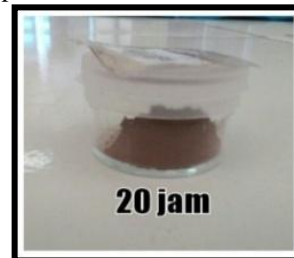
- Bubuk dunit *forsterite* ditimbang sebanyak 2 gram, dimasukkan kedalam jar bersama bola-bola mlling.
- Setelah bubuk beserta bola-bola dimasukkan kedalam jar lalu dipasang ke HEM-E3D dengan menggunakan kunci L hingga kuat.
- Kemudian HEM-E3D dihidupkan dengan menekan tombol yang hijau atau on dan set waktu selama 10 jam dengan waktu mati atau istirahat 1 menit dan waktu hidup atau waktu jalan selama 30 detik, setelah itu tekan tombol start dan penggilingan dimulai sampai HEM-E3D off sendiri.
- Setelah selesai diambil jar yang terpasang di HEM-E3D dengan menggunakan kunci L, lalu dibuka jar dan diambil bubuk dengan menggunakan spatula kemudian dimasukkan ke wadah sampel. Hasil *milling* selama 10 jam dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil Milling 10 Jam

Prosedur penggilingan sampel menggunakan HEM-E 3D dengan lama *milling* 20 jam sebagai berikut :

- Bubuk *forsterite* ditimbang sebanyak 2 gram, dimasukkan kedalam jar bersama bola-bola mlling.
- Setelah bubuk beserta bola-bola dimasukkan kedalam jar lalu dipasang ke HEM-E3D dengan menggunakan kunci L hingga kuat.
- Kemudian HEM-E3D dihidupkan dengan menekan tombol yang hijau atau on dan set waktu selama 20 jam dengan waktu mati atau istirahat 1 menit dan waktu hidup atau waktu jalan selama 30 detik sampai HEM-E3D off sendiri.
- Setelah selesai diambil jar yang terpasang di HEM-E3D dengan menggunakan kunci L, lalu dibuka jar dan diambil bubuk dengan menggunakan spatula kemudian dimasukkan ke wadah sampel. Hasil *Milling* 20 jam dapat dilihat pada Gambar 8.

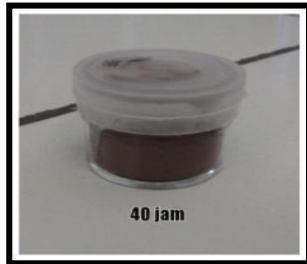


Gambar 8. Hasil Milling 20 Jam

Prosedur penggilingan sampel menggunakan HEM-E 3D dengan lama *milling* 40 jam sebagai berikut :

- Bubuk *forsterite* ditimbang sebanyak 2 gram, dimasukkan kedalam jar bersama bola-bola mlling.
- Setelah bubuk beserta bola-bola dimasukkan kedalam jar lalu dipasang ke HEM-E3D dengan menggunakan kunci L hingga kuat.
- Kemudian HEM-E3D dihidupkan dengan menekan tombol yang hijau atau on dan set waktu selama 40 jam dengan waktu mati atau istirahat 1 menit dan waktu hidup atau waktu jalan selama 30 detik sampai HEM-E3D off sendiri.
- Setelah selesai diambil jar yang terpasang di HEM-E3D dengan menggunakan kunci L,

lalu dibuka jar dan diambil bubuk dengan menggunakan spatula kemudian dimasukkan ke wadah sampel. Hasil *milling* 40 jam dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil *Milling* 40 Jam

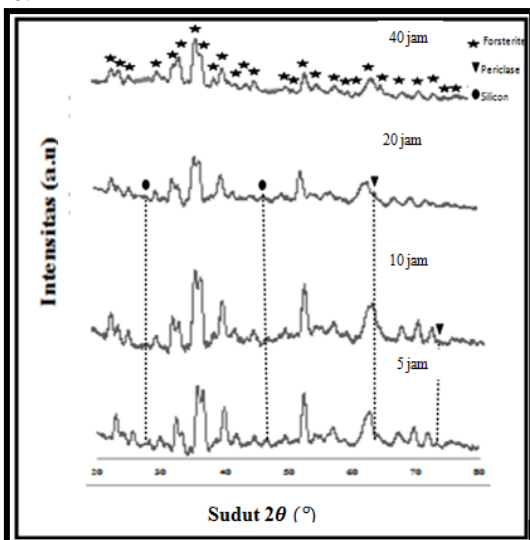
Hasil *Milling* dari setiap variasi waktu *milling* selanjutnya dikarakterisasi dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* dan *Scanning electron microscope*.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. HASIL PENELITIAN

a. Hasil Karakterisasi dengan menggunakan *X-Ray Diffraction*

Hasil karakterisasi menggunakan XRD bertujuan untuk mendapatkan struktur kristal serta ukuran kristal dari masing-masing sampel. Pengujian XRD merupakan pengujian difraksi serbuk dengan menguji serbuk hasil *milling* yang diambil sebanyak 1 gram. Berikut ini data yang didapatkan dari karakterisasi sampel dengan menggunakan XRD diperlihatkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Hasil Difraksi Sinar-x dari *Forsterite* untuk beberapa Waktu *Milling*.

Gambar 10 terlihat hasil pola difraksi XRD dengan variasi waktu *milling* 5 jam, 10 jam, 20 jam, dan 40 jam. Pada waktu *milling* 5 jam terlihat fasa yang muncul *forsterite*, *silicon*, dan *periclase*. Sistem kristal pada waktu *milling* 5 jam

yaitu *Orthorhombic* dan *cubic*. Ukuran kristalnya yaitu 53,80 nm. Sedangkan pada waktu *milling* 10 jam terjadi penggumpalan ukuran butir, sehingga ukuran kristalin menjadi besar yaitu 54,58 nm. Fasa yang muncul pada waktu *milling* 10 jam yaitu *forsterite*, *silicon*, dan *periclase*. Fasa *forsterite* mendominasi dari ketiga fasa tersebut. Pada waktu *milling* 20 jam fasa yang muncul yaitu *forsterite*, *silicon* dan *periclase*.

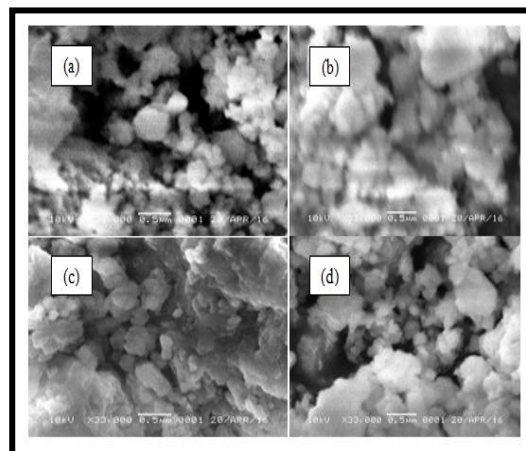
Ukuran kristalin pada waktu *milling* 20 jam kecil dari waktu *milling* 10 jam yaitu 21,69 nm. Sedangkan pada waktu *milling* 40 jam semakin kecil menjadi 18,78 nm. Struktur dari masing-masing sampel *forsterite* variasi waktu *milling* ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Struktur *Forsterite* dari Batuan Dunite dengan variasi waktu *milling*.

No	Waktu Milling	Nama Mineral	Struktur						Grup Ruang	Sistem Kristal
			a(Å)	b(Å)	c(Å)	α	β	γ		
1	5 Jam	Forsterite	10.2190	5.9900	4.7580	90°	90°	90°	P n m a I a -3 F m -3m	Orthorhombic Cubic Cubic
		Silicon	6.6360	6.6360	6.6360	90°	90°	90°		
		Periclase	4.1180	4.1180	4.1180	90°	90°	90°		
2	10 Jam	Forsterite	10.2190	5.9900	4.7580	90°	90°	90°	P n m a I a -3 F m -3m	Orthorhombic Cubic Cubic
		Silicon	6.6360	6.6360	6.6360	90°	90°	90°		
		Periclase	4.4170	4.4170	4.4170	90°	90°	90°		
3	20 Jam	Forsterite	10.2190	5.9900	4.7580	90°	90°	90°	P n m a	Orthorhombic
		Silicon	6.6360	6.6360	6.6360	90°	90°	90°		
		Periclase	4.4170	4.4170	4.4170	90°	90°	90°		
4	40 Jam	Forsterite	10.2190	5.9900	4.7580	90°	90°	90°	P n m a	Orthorhombic

b. Hasil Karakterisasi Scanning Electrone Microscope

Analisis data hasil karakterisasi menggunakan SEM untuk sampel *forsterite* setelah dilakukan *milling* terhadap sampel dengan variasi waktu *milling* 5 jam, 10 jam, 20 jam, dan 40 jam. Perbedaan bentuk morfologi pada setiap variasi waktu *milling* dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Perbedaan Bentuk Morfologi pada setiap Variasi Waktu *Milling* dengan Perbesaran 33000X. (a) 5 jam, (b) 10 jam, (c) 20 jam, (d) 40jam.

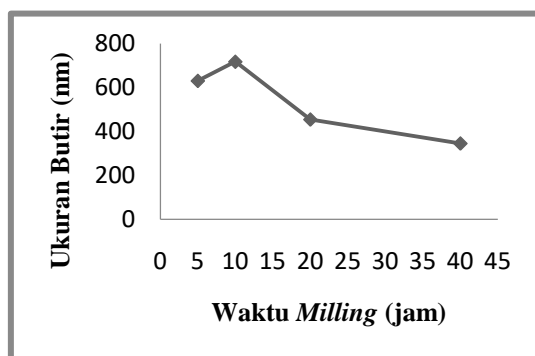
Gambar 11 terlihat perbedaan bentuk morfologi *forsterite* pada setiap variasi waktu *milling*. Pada waktu *milling* 5 jam bentuk partikel sudah ada yang berbentuk bulat tetapi tidak merata. Sedangkan pada waktu 10 jam partikel menggumpal kembali sehingga menyebabkan ukuran partikel menjadi besar. Pada waktu 20 jam partikel kembali mengecil dari ukuran partikel waktu *milling* 10 jam. Bentuk partikelnya sudah terlihat sedikit butiran bentuk bulat tetapi belum rata. Pada waktu *milling* 40 jam ukuran partikel sudah berkurang gumpalannya dan sudah ada partikel yang berukuran kecil dari sebelumnya tetapi partikel terbentuk tidak merata ukurannya. Besar ukuran butir partikel *forsterite* berturut-turut yaitu 630 nm, 717 nm, 454 nm, dan 345 nm.

Berdasarkan data analisis SEM didapatkan ukuran butir dari analisis morfologi tersebut. Hasil analisis SEM terlihat pada Tabel 11.

Tabel 2. Ukuran Butir setiap variasi waktu *milling*

Waktu <i>Milling</i>	Ukuran Butir
5 jam	630 nm
10 jam	717 nm
20 jam	454 nm
40 jam	345 nm

Grafik perubahan ukuran butir terhadap waktu *milling* dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Hubungan antara Waktu *Milling* terhadap Ukuran butir.

Gambar 12 merupakan grafik perubahan ukuran butir terhadap waktu *milling*. Grafik memperlihatkan ukuran butir pada saat waktu *milling* 10 jam yaitu sebesar 717 nm, terjadi sedikit penggumpalan pada waktu *milling* 10 jam, sedangkan pada waktu 5 jam 630 nm, saat *dimilling* dengan waktu 20 jam ukuran butir mengecil menjadi 454 nm, pada waktu *milling* 40 jam ukuran kristal kembali menurun menjadi 345 nm.

2. PEMBAHASAN

Pengaruh waktu *milling* terhadap ukuran butir menyebabkan ukuran butir semakin kecil. Setiap variasi waktu *milling*. Hasil SEM juga memperlihatkan perbedaan bentuk morfologi *forsterite* setiap variasi waktu *milling*. Hal ini disebabkan karena butiran mengalami penggumpalan antar butir satu dengan yang lain, dan bentuk butirannya berupa bulat belum rata. Tiap-tiap kenaikan variable *milling time* lebih terlihat morfologi pemaduannya, nampak bahwa antara butiran satu dengan yang lain sudah saling melebur, peleburan tersebut mengindikasikan terbentuknya *solid solution* pada serbuk. Membesarnya ukuran butir pada salah satu hasil.

Gambar 10 merupakan grafik perubahan ukuran butir terhadap waktu *milling*. Grafik memperlihatkan ukuran butir pada saat waktu *milling* 10 jam yaitu sebesar 717 nm, terjadi sedikit penggumpalan pada waktu *milling* 10 jam, sedangkan pada waktu 5 jam 630 nm, saat *dimilling* dengan waktu 20 jam ukuran butir mengecil menjadi 454 nm, pada waktu *milling* 40 jam ukuran kristal kembali menurun menjadi 345 nm. Membesarnya ukuran butir pada saat waktu *milling* 10 jam dikarenakan partikel beraglomerasi kembali setelah partikel dipatahkan atau dipecahkan oleh bola-bola sehingga berukuran kecil kemudian terjadi pengelompokan sampai dengan waktu *milling* selama 10 jam hal ini terjadi akibat bubuk yang sudah dipecahkan dan berukuran kecil terjadi pengompesian yang akibatnya bubuk menyatu sehingga menyebabkan ukuran butir menjadi besar, akan tetapi pada waktu *milling* 20 jam ukuran butir mengecil kembali hal ini dikarenakan sampel mengalami gaya tumbukan dengan bola-bola yang memiliki energi yang tinggi sehingga bubuk tersebut menjadi tergerus kembali dan menjadi berukuran kecil. Selain gaya tumbukan itu bubuk juga mengalami gaya lain seperti atrisi, gesekan, dan kompresi. Sehingga pada waktu *milling* 20 jam *forsterite* sudah mencapai titik perpatahan dan ukurannya mengecil kembali

Selama prose *milling* partikel serbuk akan mengalami proses penghancuran yang berulang-ulang. Ketika bola-bola *milling* saling bertumbukan maka serbuk yang di *milling* berada diantara tumbukan bola-bola sehingga menyebabkan serbuk akan terdeformasi dan serbuk akan menjadi hancur, maka akan menyebabkan ukuran butir serbuk menjadi kecil dan bisa juga menyebabkan menjadi besar jika butiran sudah menggumpal.

Proses *aglomerasi* merupakan proses bergabungnya partikel-partikel kecil menjadi struktur yang lebih besar melalui mekanisme pengikatan fisis.

Proses *aglomerasi* yang terjadi juga dapat diakibatkan oleh beberapa hal, yaitu kontaminasi serbuk sampel dengan material bola penghancur dan *jar*. Meskipun memiliki kekerasan yang sangat tinggi, *stainless steel* pada bola penghancur dan *jar* tetap akan memberikan kontaminasi pada serbuk sampel yang digiling. Kecepatan penggilingan tinggi dan waktu penggilingan lama menyebabkan kontaminasi material pembentuk bola penghancur dan *jar* bisa dikatakan nyaris tidak dapat dihindari. Selanjutnya yang mempengaruhi ukuran butir yaitu pengaruh bentuk *jar*, desain pinggir bawah *jar* HEM-E3D yang berbentuk kurva dapat menyebabkan terbentuknya *dead zone* yang merupakan daerah dimana serbuk tidak tergilang karena media penggiling (bola) tidak dapat mencapainya saat *milling* berlangsung.

Hasil XRD memperlihatkan hasil karakterisasi menggunakan xrd didapatkan hubungan 2θ dengan intensitas. Setiap variasi waktu *milling* terlihat ada puncak-puncak yang muncul dan menghilang dan juga terlihat terjadinya penurunan intensitas. Puncak yang menghilang dikarenakan atom-atom pada fasa lain tidak ada sehingga tidak ada hamburan atom oleh struktur tertentu. Intensitas yang terukur pada xrd merupakan hasil dari intensitas hamburan oleh struktur atom tertentu. Besarnya intensitas relatif dari deretan puncak-puncak tersebut bergantung pada jumlah atom atau ion yang ada, dan distribusinya di dalam sel satuan pada material tersebut. Hal ini terlihat pada Tabel 1 muncul beberapa fasa lain pada setiap variasi waktu *milling*. Pada waktu *milling* 5 jam, 10 jam, 20 jam muncul fasa selain *forsterite* yaitu *periclase* dan *sillicon*.

KESIMPULAN

Pengaruh waktu *milling* 5 jam, 10 jam, 20 jam, dan 40 jam pada sampel *forsterite* menyebabkan perubahan pada ukuran butir. Pada saat waktu *milling* 5 jam butiranya kecil dari waktu *milling* 10 jam bentuk morfologinya bulat. Sedangkan waktu *milling* 20 jam bentuk morfologinya bulat tetapi ukuran butiranya mulai merata. Ukuran butir berturut-turut yaitu sebesar 630 nm, 717 nm, 454 nm, 354 nm.

SARAN

Agar ukuran butir dapat mencapai ukuran kurang dari 100 nm, maka peneliti selanjutnya bisa melanjutkan penelitian ini dengan menggunakan waktu *milling* yang digunakan lebih dari 40 jam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Menristekdikti yang telah mendanai penelitian ini dengan judul hibah penelitian Masterplan Percepatan dan Perluasan Ekonomi Indonesia (MP3EI) dengan kontrak no. . Terima kasih penulis sampaikan kepada pembimbing ibu Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si dan Bapak Dr. Ramli, SPd, M.Si yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nelson, A. 2012. *Silicate Structures, Structural Formula, Neso-, Cyclo-, And Soro-Silicates*. Mineralogy :Tulane university.
- [2] Government of Indian, 2015. *Dunite And Pyroxenite*. Indian mineral yearbook 2013. ministry of mines : Indian bureau of mines.
- [3] Kaloari, R. M., dkk., 2014. Sintesis dan Karakterisasi Nanokatalis α -Fe₂O₃ dengan Bahan Penyangga Mesopori SiO₂. Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng & DIY, Yogyakarta, 26 April 2014 ISSN : 0853-0823.
- [4] Bell, T.E., 2006. Understanding Risk Assessment of Nanotechnology. Artikel National Nanotechnology Coordination Office. USA
- [5] Academie des science dan Academie des Technologies. 2004. *Nanoscience, Nanotechnologies*. RST No. 18
- [6] Nuryadi, R. 2009. Nanoteknologi Untuk Solusi Krisis Energi. Artikel Seminar Nanoteknologi. Semarang
- [7] Adityawarman, D. 2009. *Peranan Nanoteknologi Dalam Menunjang Ketahanan Pangan*. Artikel Seminar nanoteknologi. Semarang
- [8] Kumar. 2005. *Nanofabrication Towards Biomedical Applications*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. Germany.
- [9] Guerard, Daniel, Janot, Rhapael. 2005. *Ball Milling In Liquid Media Applications to The Preparation of Anodic Materials For Lithium-Ion Batteries*. *Progress in material science*, pp 1-92.
- [10] Kaushal, Kishore. 2007. *Study On The Effect Of High Energy Ball Milling (A Nano Material Procces) On The Microstructure And Mechanical Properties Of A (Al-Si-Fe-Cu) Alloy*. National Institute Of Technology : Rourkela (Thesis).
- [11] Nanotech Indonesia. 2014. *High Energy Milling E3D (HEM E3D)*. Banten : PUSPIPTEK Serpong.

- [12] Calka, A and Nikolov J. I. 1995. "The Dynamics of Magneto-Ball Milling and its Effects on Phase Transformations During Mechanical Alloying," *Materials Science Forum* vol. 179–181, pp. 333–338.
- [13] Kaushal, Kishore. 2007. *Study On The Effect Of High Energy Ball Milling (A Nano Material Procces) On The Microstructure And Mechanical Properties Of A (Al-Si-Fe-Cu) Alloy*. National Institute Of Technology : Rourkela.
- [14] Suryanarayana. 2001. *Mechanical Alloying and Milling*. Departmen Metallurgi & Materials Engineering, Colorado School of Mines, golden Co 80401-1887. USA.
- [15] Krisnawan, Aris. 2009. *Karakterisasi Sampel Paduan Magnesium Jenis AZ9 1D Dengan Berbagai Variasi Waktu Milling Menggunakan X-Ray Fluoresence (XRF) dan X-Ray Diffraction (XRD)*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah : Jakarta (Skripsi)