

**PENGARUH WAKTU *MILLING* TERHADAP STRUKTUR DAN MORFOLOGI
ALUMINIUM SERBUK DARI LIMBAH ALUMINIUM MENGGUNAKAN
METODE *HIGH ENERGY MILLING* (HEM)**

SKRIPSI



Oleh :

DWI KASARI

08021181520061

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2019

LEMBAR PENGESAHAN
PENGARUH WAKTU *MILLING* TERHADAP STRUKTUR DAN MORFOLOGI
ALUMINIUM SERBUK DARI LIMBAH ALUMINIUM MENGGUNAKAN
METODE *HIGH ENERGY MILLING* (HEM)

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains Bidang Studi Fisika

Oleh :
DWI KASARI
NIM.08021181520061

Inderalaya, April 2019

Menyetujui,

Pembimbing II



Akmal Johan, S. Si., M.Si.
NIP. 197312211999031003

Pembimbing I



Dr. Fitri Suryani Arsyad, S.Si., M.Si.
NIP. 197010191995122001

Diketahui oleh :

Ketua Jurusan Fisika
FMIPA, Universitas Sriwijaya



Dr. Haryah Wargo, S.Si., M.T
NIP : 197009101994121001

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya lah sehingga skripsi yang berjudul “Pengaruh Waktu *Milling* Terhadap Struktur dan Morfologi Aluminium Serbukdari Limbah Aluminium Menggunakan Metode *High Energy Milling* (HEM)” sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan sarjana dapat terselesaikan. Penelitian telah dilaksanakan di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Dalam penulisan skripsi ini tentunya penulis tidak terlepas dari berbagai hambatan dan bantuan dari berbagai pihak oleh karena itu penulis sangat berterima kasih kepada Ibu Dr. Fitri Suryani Arsyad, M.Si. selaku Dosen pembimbing I dan Bapak Akmal Johan, S.Si., M.Si selaku Dosen pembimbing II yang telah memberikan banyak saran, motivasi, bimbingan dan waktunya. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc. selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
2. Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Akhmad Aminuddin Bama, Bapak Drs. Pradanto. P.DEA dan Ibu Dra. Yulinar Adnan, M.T. selaku dosen penguji dalam menempuh ujian sarjana yang memberikan kritik dan saran yang membangun.
4. Bapak Dr. Akhmad Aminuddin Bama selaku Dosen pembimbing akademik.
5. Ibu Dr. Idha Royani, S.Si., M.Si selaku Kepala Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan motivasi dan izin penggunaan Lab selama penulis menyelesaikan tugas akhir.
6. Kedua orang tua Bapak dan Ibu yang telah memberikan do'a dan dukungan sepenuhnya.
7. Ayuk Rumi dan Adek Rica yang selalu memberikan semangat dan do'a nya.
8. Teman-teman Fisika Teori dan Material.
9. Mbak Inayah yang telah banyak membantu dan memberi motivasi.
10. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang selalu memberikan semangat dan bantuan-bantuan yang bermanfaat.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dan banyak kesalahan dalam penyusunan skripsi ini, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan guna untuk memperbaiki kesalahan di masa yang akan datang. Penulis juga berharap skripsi ini dapat bermanfaat sebagai pengetahuan dan referensi dalam penelitian selanjutnya.

Akhir kata penulisingin menyampaikan permohonan maaf apabila ada perkataan penulis baik sengaja maupun tidak sengaja yang mungkin tidak berkenan dihati pembaca dan semoga skripsi ini bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi yang membacanya, Aamiin.

Indralaya, April 2019

Dwi Kasari

08021181520061

ABSTRAK

Telah dihasilkan serbuk aluminium yang diperoleh dari pemanfaatan limbah aluminium *frame* (bingkai lemari) dari industri konstruksi rumah tangga. Serbuk aluminium yang telah dihasilkan di-*milling* selama 20 menit dengan variasi waktu *off* selama 10 menit, 20 menit, 30 menit dan 40 menit. Setelah di-*milling* serbuk aluminium kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan X-*Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur kristal dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengetahui morfologi permukaan. Dari hasil XRD diperoleh ukuran kristal dan kerepatan (*density*) serbuk aluminium. Ukuran kristal masing-masing waktu *off* 10 menit, 20 menit, 30 menit dan 40 menit adalah 30.8 nm, 30.3 nm, 31.0 nm dan 29.6 nm. Ukuran kristal paling kecil ketika di-*milling* selama 20 menit dengan waktu *off* 40 menit sebesar 29.6 nm. Semakin lama waktu *off* pada proses *milling* maka ukuran kristalnya akan semakin kecil. Sedangkan morfologi permukaan serbuk dengan SEM dilakukan untuk sampel serbuk yang telah di-*milling* selama 20 menit dengan waktu *off* 40 menit. Hasil foto SEM serbuk aluminium *milling* 20 menit dengan waktu *off* 40 menit menunjukkan bahwa morfologi serbuk aluminium tidak teraglomerasi.

Kata kunci: aluminium, *frame*, *milling*, ukuran kristal, XRD, SEM.

Inderalaya, April 2019

Menyetujui,

Pembimbing II



Akmal Johan, S. Si., M.Si.
NIP. 197312211999031003

Pembimbing I



Dr. Fitri Suryani Arsyad, S.Si., M.Si.
NIP. 197010191995122001

Diketahui oleh :

Ketua Jurusan Fisika
FMIPA Universitas Sriwijaya



Dr. Pratikah Virgo, S.Si., M.T
NIP : 197009101994121001



ABSTRACT

Aluminum powder has been produced from the use of aluminum frame waste from the household construction industry. Aluminum powder that has been produced is milled for 20 minutes with time variations off for 10 minutes, 20 minutes, 30 minutes and 40 minutes. After milling aluminum powder then characterization using X-Ray Diffraction (XRD) to determine the crystal structure and Scanning Electron Microscope (SEM) to determine the surface morphology. From the XRD results obtained the crystal size and density of aluminum powder. Crystal size of each time off 10 minutes, 20 minutes, 30 minutes and 40 minutes are 30.8 nm, 30.3 nm, 31.0 nm and 29.6 nm. The smallest crystal size when milled for 20 minutes with an off time of 40 minutes is 29.6 nm. The longer the time off in the milling process the smaller the size of the crystal. While the surface morphology of powder with SEM was carried out for powder samples that had been milled for 20 minutes with an off time of 40 minutes. SEM results of 20 minute aluminium powder milling with an off time of 40 minutes showed that morphology non agglomerated aluminium powder.

Keywords: aluminum, frame, milling, crystal size, XRD, SEM.

Inderalaya, April 2019

Menyetujui,

Pembimbing II	Pembimbing I
	
<u>Akmal Johan, S. Si., M.Si.</u>	<u>Dr. Fitri Suryani Arsyad, S.Si., M.Si.</u>
NIP. 197312211999031003	NIP. 197010191995122001

Diketahui oleh :

Ketua Jurusan Fisika
FMIPA Universitas Sriwijaya



Dr. Hriyach Wargo, S.Si., M.T.
NIP : 197009101994121001

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR	ii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Aluminium.....	4
2.1.1 Sifat dan Karakterisasi Aluminium.....	5
2.2 Aplikasi Aluminium untuk Plat <i>Bipolar</i> pada <i>Fuel Cell</i>	8
2.3 Pembuatan Serbuk Aluminium dari Limbah Aluminium <i>Frame</i> dengan Menggunakan Metode <i>High Energy Milling</i> (HEM).....	10
2.3.1 <i>High Energy Milling</i> (HEM).....	10
2.4. Karakteristik Struktur Material dan Morfologi dengan <i>X-Ray Diffraction</i> dan <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	12
2.4.1. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	15
2.4.2. <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	15
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	17
3.2 Prosedur Penelitian.....	17
3.2.1 Preparasi Serbuk Aluminium	17
3.2.2 Penghalusan Serbuk Aluminium dengan <i>High Energy Milling</i> (HEM) ..	17
3.2.3 Karakterisasi Sifat Struktur Aluminium Menggunakan XRD	18
3.2.4 Karakterisasi Morfologi Sampel Serbuk Aluminium dengan <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	18

3.3 Diagram Alir Penelitian.....	19
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	21
4.1 Hasil Pembuatan Serbuk Aluminium.....	21
4.2 Analisis Sifat Struktur Aluminium Serbuk Berdasarkan Variasi Waktu <i>Milling</i> Menggunakan <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	22
4.3 Analisis Morfologi Serbuk Aluminium dengan <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	28
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	31
5.1 KESIMPULAN.....	31
5.2 SARAN	31
DAFTAR PUSTAKA	32
LAMPIRAN PERHITUNGAN.....	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Contoh logam aluminium (Utomo dan Alva, 2017).	4
Gambar 2.2. Limbah aluminium <i>Frame</i> dari industri konstruksi pembuatan lemari	
(Sinaga, 2016)	7
Gambar 2.3. Bentuk <i>polymer electrolite membrane fuel cell</i> (PEMFC) (Malasari dkk., 2014)	9
Gambar 2.4. Bentuk plat <i>bipolar</i> (Ulmiyah dkk., 2018).....	9
Gambar 2.5. (a). <i>Shaker milling</i> PPF-UG, (b). <i>Vial</i> (Wismogroho et al., 2014).....	10
Gambar 2.6. Contoh mekanisme yang terjadi di dalam <i>vial</i> pembenturan antara serbuk dan bola-bola <i>milling</i> pada mesin HEM (Abrini dkk., 2017).	14
Gambar 2.7. Contoh pola puncak difraksi hasil XRD (Abdullah dan Khairurrijal, 2009).....	12
Gambar 2.8. Contoh hasil XRD serbuk hasil <i>milling</i> a) 0 jam, b) 2 jam, c) 5 jam, d) 10 jam (Aji dan Purwaningsih, 2012).....	143
Gambar 2.9. Difraksi Sinar-X (Taqiyah, 2012).....	14
Gambar 2.10 contoh hasil SEM perbesaran 600x serbuk aluminium dan nikel hasil <i>milling</i> a) 2jam, b) 5 jam, c) 10 jam, d) 20 jam (Kurniawan dan Purwaningsih, 2013).....	16
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	20
Gambar 4.1. Sampel serbuk aluminium <i>frames</i> setelah melalui pengayakan 100 mesh .	21
Gambar 4.2. Sampel serbuk aluminium hasil <i>milling</i> 20 menit dengan variasi waktu <i>off</i> a) 10 menit, b) 20 menit, c) 30 menit dan d) 40 menit	22
Gambar 4.3. Grafik pola difraksi pada serbuk aluminium dengan waktu <i>milling</i> selama 20 menit dengan variasi waktu <i>off</i> 10 menit, 20 menit, 30 menit dan 40 menit hasil XRD	23
Gambar 4.4. Grafik pengaruh variasi waktu <i>milling</i> terhadap kerapatan (densitas) serbuk aluminium.....	27
Gambar 4.5. Citra SEM serbuk aluminium <i>milling</i> 20 menit dengan waktu <i>off</i> konstan perbesaran 20.0 KX dari penelitian Inayah dkk. (SICBAS).....	28
Gambar 4.6. Citra SEM serbuk aluminium <i>milling</i> 20 menit dengan waktu <i>off</i> 40 menit perbesaran 20.0 KX	29

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Variasi waktu <i>off</i> pada proses <i>milling</i> 20 menit serbuk aluminium.....	18
Tabel 4.1. Variasi waktu <i>milling</i> dengan waktu <i>off</i> konstan pada penelitian Inayah dkk (SICBAS 2018).....	24
Tabel 4.2. Hasil perhitungan ukuran kristal waktu <i>milling</i> selama 20 menit variasi waktu <i>off</i> 10, 20, 30 dan 40 menit	24
Tabel 4.3. Karakteristik serbuk aluminium berdasarkan 20 menit waktu <i>milling</i> dengan variasi waktu <i>off</i> hasil analisis XRD dan pendekatan persamaan Scherrer.....	26
Tabel 4.4. Pengaruh <i>milling</i> 20 menit dengan variasi waktu <i>off</i> terhadap kerapatan (densitas) dan volume serbuk aluminium.....	26

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi memiliki peran yang sangat penting bagi berlangsungnya hidup manusia. Tanpa energi semua aktivitas manusia akan terhambat. Energi yang selama ini kita gunakan sebagian besar berasal dari energi fosil. Sementara itu ketersediaan energi fosil saat ini semakin sedikit dan oleh karena itu diperlukan energi alternatif sebagai pengganti energi fosil saat ini. Energi alternatif adalah energi yang digunakan untuk mengganti energi dari minyak bumi dan batu bara. Terdapat macam-macam energi alternatif seperti energi matahari, energi air, energi panas bumi, dan energi *fuel cell*. Di Indonesia saat ini sedang dikembangkan energi alternatif dari *fuel cell* atau *proton exchange membrane fuel cell* (PEMFC). Dalam aplikasi PEMFC terdapat suatu pelat yang disebut pelat *bipolar* yang berfungsi untuk mensuplai bahan bakar. Pelat *bipolar* terbuat dari material konduktor serta tidak tembus gas, untuk itu umumnya menggunakan material grafit dan logam (baja, nikel dan aluminium). Dalam penelitian ini akan digunakan logam aluminium sebagai material dalam pembuatan pelat *bipolar*. Sementara itu untuk mendapatkan bahan aluminium murni diperlukan biaya yang cukup mahal, sehingga kita dituntut untuk berupaya mengatasi permasalahan ini salah satunya dengan cara memanfaatkan limbah aluminium *frame* (bingkai) yang berasal dari industri konstruksi rumah tangga seperti *frame* (bingkai) lemari, jendela dan lain-lain yang terdapat banyak dilingkungan sebagai limbah logam yang sulit terurai secara biologis. Limbah *frame* aluminium dibuat menjadi serbuk logam. Serbuk logam tersebut dapat kita olah lagi melalui proses pengepresan dengan bantuan alat pemanasan menjadi benda logam padat.

Aluminium merupakan konduktor panas yang baik, tahan terhadap korosi dan perubahan suhu. Aluminium adalah salah satu jenis logam yang manfaatnya banyak sekali. Salah satunya adalah berfungsi sebagai bahan utama dalam pembuatan pelat *bipolar* dalam teknologi *proton exchange membrane fuel cell* (PEMFC). Aluminium dalam hal ini digunakan sebagai material yang dianggap mampu berkontribusi untuk meningkatkan nilai konduktivitas pelat *bipolar*. Logam aluminium memiliki konduktivitas listrik yang lebih baik dari material keramik termasuk karbon (karbida). Di dalam PEMFC, aluminium dapat digunakan sebagai bahan pembuatan

pelat *bipolar* yang berfungsi sebagai pengumpul arus, sambungan listrik antara sel individu tumpukan, pemisahan gas antar sel yang berdekatan, dan pengkonduksi panas. Berdasarkan fungsinya tersebut, maka diperlukan pelat *bipolar* yang memiliki nilai konduktivitas optimum dengan kekuatan struktur yang memadai. Seperti yang telah dijelaskan diatas bahwa logam aluminium memiliki nilai konduktivitas yang lebih baik dari material lain sehingga logam aluminium dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan pelat *bipolar*.

Dalam penelitian ini aluminium *frame* dari limbah industri konstruksi akan dibuat menjadi serbuk aluminium menggunakan metode *high energy milling* (HEM). Pembuatan serbuk aluminium dengan mengoptimasi waktu *milling*. Optimasi dilakukan dengan waktu *milling* 20 menit dengan memvariasikan waktu *off* dari 10 menit, 20 menit, 30 menit, dan 40 menit. Aluminium serbuk yang sudah di-*milling* kemudian akan dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengetahui sifat struktur dan morfologi permukaan. Diharapkan dari hasil XRD dan SEM diperoleh serbuk aluminium yang memiliki struktur dan morfologi yang optimum untuk bahan baku pembuatan pelat *bipolar*.

1.2 Rumusan Masalah

1. Limbah aluminium *frame* dari industri konstruksi rumah tangga yang belum diolah secara optimum untuk aplikasi pelat *bipolar* pada PEMFC.
2. Kemurnian dan nilai konduktivitas aluminium limbah yang rendah oleh karena itu dibutuhkan waktu yang optimum untuk pengelolannya.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengolah limbah aluminium *frame* dari industri konstruksi rumah tangga menjadi serbuk aluminium menggunakan metode *high energy milling* (HEM) untuk pelat *bipolar* pada aplikasi PEMFC.
2. Melakukan optimasi waktu *milling* dengan variasi waktu *off* selama 10 menit, 20 menit, 30 menit dan 40 menit untuk mengetahui pengaruh waktu *off* terhadap karakteristik dan morfologi serbuk aluminium yang berasal dari pemanfaatan limbah *frame* aluminium industri konstruksi rumah tangga.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini hanya dilakukan untuk pembuatan serbuk aluminium dengan membuat perlakuan waktu *milling* 20 menit dengan variasi waktu *off* 10 menit, 20 menit, 30 menit dan 40 menit.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Pemanfaatan limbah aluminium *frame* dari industri konstruksi rumah tangga diharapkan dapat mengurangi pencemaran lingkungan.
2. Serbuk aluminium dari limbah aluminium *frame* dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan pelat *bipolar* untuk aplikasi PEMFC.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M dan Khairurrijal., 2009. *Review: Karakterisasi Nanomaterial*. Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi, 1(2): hal. 7-8.
- Abrini, D., Ardhy, S., dan Putra, H., 2017. *Uji Kekerasan pada Paduan Fe-50%atAl dengan PenambahanNikel Menggunakan Metode Mechanical Alloying*. Jurnal Teknik Mesin Institut Teknologi Padang, 1(7): hal. 47.
- Aji, G.P., dan Purwaningsih, H., 2012. *Pengaruh Milling Time Terhadap Pembentukan Fasa γ -MgAl Hasil Mechanical Alloying*. Jurnal Teknik POMITS, 1(1): hal. 2.
- Antika, L., Juliyanti, E., Miroah, Nurul, A., dan Hapsari, S., 2012. *Pengukuran (Kalibrasi) Volume Dan Massa Jenis Alumunium*. Jurnal Fisikadan Aplikasinya, 1(13): hal. 24.
- Dantes, K.R., dan Gunawan, K., 2017. *Pelatihan Pengolahan Limbah Aluminium Melalui Proses Pengecoran Logam*. Seminar Nasional dan Teknologi. ISSN Online 2541-3058.
- Hernawati, W., Sumardi, Agustrina, R., dan Yulianto, H., 2016. *Pengaruh Pemaparan Medan Magnet Pada Media Mandels Yang Dimodifikasi Terhadap Pertumbuhan Dan Aktivitas Enzim Selulase Bacillus Sp.* Jurnal Penelitian Pertanian Penerapan, 2(16): hal. 81.
- Karyasa, I.W., 2013. *Studi X-Ray Fluoresence Dan X-Ray Diffraction Terhadap Bidang Belah Batu Pipih Asal Tejakula*. Jurnal Sains dan Teknologi, 2(2): hal. 204.
- Kurniawan, A., dan Purwaningsih, H., 2013. *Pengaruh Penambahan 10at.%Ni dan Waktu Milling pada Paduan MgAl Hasil MechanicalAlloyingdan Sintering*. Jurnal TeknikPOMITS, 1(2): hal. 59.
- Lestari, P., 2016. *Kertas Indikator Bunga Belimbing Wuluh (Averrhoa Bilimbi L) Untuk Uji Larutan Asam Basa*. Jurnal Pendidikan Madrasah, 1(1): hal. 71.
- Malasari, N.N., Onggo, H., dan Rokhmat, M., 2014. *Integrasi Polymer Electrolyte Membrane (PEM) Fuel Cell Dan Analisis Pengaruh Jumlah Sel Terhadap Performansi Berdasarkan Data Kurva Karakteristik*. Jurnal Teknik Fisika, 1(1): hal. 1-2.

- Natalia, K.R., Setyowati, E.W., dan Suryo E.A., 2016. *Struktur Mikro Pada Beton Dengan Limbah Batu Onyx Sebagai Agregat Kasar*. Naskah Publikasi, hal. 4-5.
- Nurasmi, Amalia, F., Nurfadilla dan Subaer., 2015. *Karakterisasi Struktur Mikro Komposit $AlZrSi_4$ dengan Scanning Electron Microscopy (SEM) dan X-Ray Diffraction (XRD)*. Jurnal Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIX HFI Jateng & DIY, Yogyakarta, ISSN 08530823: hal. 200-201.
- Purawiardi, R.I., Astawa, I.N.G.P., dan Maburri, E., 2016. *Studi Perubahan Struktur Kristal Material Hasil Perlakuan Equal Channel Angular Pressing Rute Bc Dengan Variasi Jumlah Pass: Studi Kasus Sampel Aluminium Paduan 5052*. Jurnal Sains Materi Indonesia, 1(18): hal. 17.
- Purwanti, A., 2017. *Evaluasi Kinetika Reaksi Pembuatan Aluminium Hidroksida dari Tawas dan Amonium Hidroksida*. Jurnal Teknologi, 1(10): hal. 53.
- Putri, L.M.A., Prihandono, T., Dan Supriadi, B., 2017. *Pengaruh Konsentrasi Larutan Terhadap Laju Kenaikan Suhu Larutan*. Jurnal Pembelajaran Fisika, 2(6):hal. 147.
- Rahman, H.Z., dan Sesmiwati., 2014. *Analisa Penerapan Metode Value Engineering Pada Industri Konstruksi Di Indonesia*. Jurnal Teknik FTUP, 2(27): hal. 119.
- Sinaga, N.A., 2016. *Pemanfaatan Limbah Aluminium Sebagai Bahan Baku Aksesoris*. Jurnal E-Proceeding Of Art And Design, 2(3): hal. 269 dan 275.
- Smallman, R., dan Bishop, R., 1999. *Modern Physics Metallurgy and Materials Engineering*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Sujatno, A., Salam, R., Badriyana, dan Dimyanti, A., 2015. *Studi Scanning Electron Microscopy (Sem) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium*. Jurnal Forum Nuklir, 2(9): hal. 45.
- Sukirno, S., 1995. *Pengantar Teori Ekonomi Mikro, Edisi kedua*. Jakarta: PT. Karya Grafindo Persada.
- Takeuchi, Y., 2006. *Pengantar Kimia*. Tokyo: The University of Tokyo.
- Taqiyah, R., 2012. *Perbandingan Struktur Kristal dan Morfologi Lapisan Tipis Barium Titanat (BT) dan Barium Zirkonium Titanat (BZT) yang ditumbuhkan*

dengan Metode Sol-Gel. Surakarta: Skripsi, Fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret.

Ulmiah, N., Arsyad, F.S., dan Khaerudini, D.S., 2018. *Pengaruh Penambahan Iron Mill Scale Dan Tembaga Sebagai Material Pelat Bipolar*. Jurnal TEKNOSAINS, 2(7): hal. 138.

Utomo, R.S.B., dan Alva, S., 2017. *Studi Dan Karakterisasi Laju Korosi Logam Aluminium Dengan Pelapisan Membran Sol-Gel*. Jurnal Teknik Mesin, 3(6): hal. 191.

Widyawati, N., 2012. *Analisa Pengaruh Heating Rate terhadap tingkat Kristal dan Ukuran Butir Lapisan BZT yang Ditumbuhkan dengan Metode Sol Gel*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

Wismogroho, A. S., 2014. *Shaker Mill PPF-UG, ball milling local energy tinggi*. online (<http://blog.sivitas.lipi.go.id/blog.cgi?isiblog&1136659685&&&1036006479&1395314337&agus046&1318847657>), Tangerang : LIPI

Yunasfi., 2012. *Karakterisasi Nanostruktur Karbon Dari Grafit Hasil Milling*. Jurnal Majalah Metalurgi, ISSN 0216-3188: hal. 280.

Zahara, Y., Ratnawulan, Ramli, dan Fauzi, A., 2016. *Pengaruh Waktu Milling Terhadap Ukuran Butir Quartz Dari Nagari Saruaso Kabupaten Tanah Datar*. Jurnal Pillar Of Physics, 1(8): hal. 114.