

PENGARUH PROSES HOT ROLLING DAN KANDUNGAN CERIUM PADA DAYA HANTAR LISTRIK PADUAN AlZrCe SEBAGAI MATRIK KOMPOSIT BERPENGUAT Al₂O₃

EFFECT OF HOT ROLLING PROCESS AND CERIUM CONTENT ON ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF AlZrCe ALLOY FOR Al₂O₃ REINFORCEMENT MATRIX COMPOSITE

Iwan Setyadi^a, Suryadi^a, Kirman^b, Mirza Wibisono^a

^a Pusat Teknologi Material – BPPT,

Gedung Teknologi 224 Lantai 1 Kawasan Puspiptek Serpong-Tangerang

e-mail : i1setyadi2810@gmail.com, suryadi.chun@gmail.com, mirza_w@yahoo.com

^b B2TKS – BPPT, Gedung B2TKS, Kawasan Puspiptek Serpong-Tangerang

e-mail : kirmanmt@gmail.com

Abstrak

Sebagai upaya untuk mendapatkan material konduktor listrik, paduan aluminium-Cerium merupakan salah satu alternatif material yang dikembangkan sebagai paduan dasar untuk komposit bermatrik logam. Dalam manufaktur kawat konduktor, proses pengerolan panas merupakan bagian proses yang tidak terpisahkan untuk mereduksi penampang. Adapun fokus penelitian adalah mengamati pengaruh pengerolan panas terhadap paduan AlZrCe, dimana yang divariasikan adalah prosentase reduksi dan kandungan cerium dalam paduan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan prosentasi reduksi pengerolan panas dan kenaikan kandungan Cerium dalam paduan AlZrCe memberikan dampak peningkatan nilai konduktivitas listrik paduan AlZrCe. Hasil optimal yang diperoleh adalah 62,07% IACS, yang didapat dari master paduan AlZrCe dengan kandungan 0,3% Ce dan reduksi sebesar 67,5%. Hasil ini mendekati bahan EC (99,6% Al) yang memiliki konduktivitas listrik 63,4% IACS.

Kata kunci : paduan AlZrCe, pengerolan panas, prosentase reduksi, kandungan Cerium, konduktivitas listrik, IACS.

Abstract

In an effort to obtain an electrical conductor material, aluminum-cerium alloys is one alternative materials developed as a basis for metal matrix composites. In manufacturing the conductor wire, the hot rolling process is an integral part of the process in order to reduce cross-section. The focus of the research was to observe the effect of the hot rolling of the alloy AlZrCe, where varied is the reduction process and the content of cerium in the alloy. The results showed that an increase in the percentage of reduction of hot rolling and the increase in the alloy content of Cerium AlZrCe impact value increase electrical conductivity alloys AlZrCe. Optimal results are obtained 62.07% IACS, which is obtained from the master alloy AlZrCe with Ce content of 0.3% and a reduction of 67.5%. This result approached the EC materials (99.6% Al) which has the electrical conductivity of 63.4% IACS.

Keywords : AlZrC alloy, hot rolling, the percentage of reduction, cerium content, electrical conductivity, IACS.

Diterima (received) : 1 April 2016, Direvisi (Revised) : 12 Oktober 2016, Disetujui (Accepted) : 28 November 2016

PENDAHULUAN

Alumunium merupakan jenis logam yang memiliki daya hantar listrik yang tinggi disamping bahan tembaga^{1,2,3}. Dalam hal tertentu alumunium memiliki keunggulan dimana berat jenisnya yang rendah lebih kurang sepertiga berat tembaga, tahan korosi dan mudah difabrikasi dengan proses apapun^{1,3}, namun sifat elastisitas sangat rendah.

Untuk keperluan bahan konduktor, khususnya untuk bahan kawat listrik tegangan tinggi, alumunium sudah banyak digunakan. Diantaranya kawat listrik dari alumunium berpenguat baja. Namun bahan ini dilaporkan lebih berat dan adanya kecenderungan baja yang menjadi penguatnya bisa terkorosi.

Banyak alternatif material kawat dikembangkan dari bahan yang berbasis paduan alumunium, diantaranya paduan alumunium-cerium. Cerium yang merupakan kelompok logam tanah jarang dianggap mampu meningkatkan kekuatan dan juga dapat meningkatkan daya hantar listrik⁴. Dari hasil penelitian yang pernah dilakukan⁵ diketahui bahwa kandungan Ce dalam paduan alumunium berkisar 0,11-0,5%. Bahkan penelitian paduan Al-Ce untuk matrik komposit juga sudah ada yang melakukan^{6, 7}).

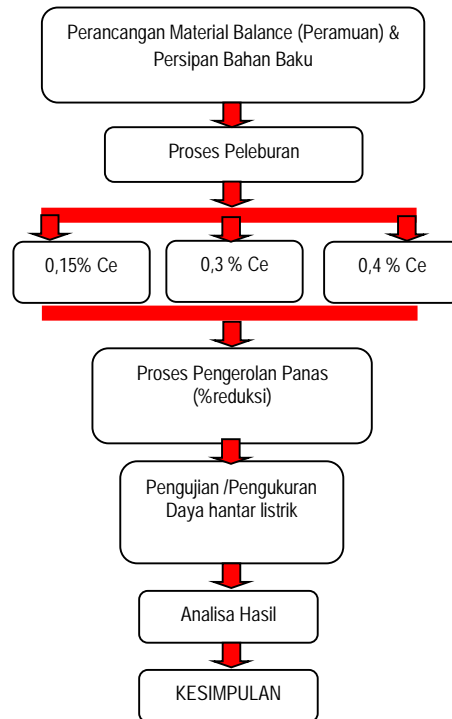
Sebagai paduan, bahan baku Cerium cukup banyak di Indonesia. Salah satunya berasal dari pemurnian monasit, yang merupakan *tailing* tambang timah di Bangka Belitung^{8, 9}.

Dalam tulisan ini fokus riset yang dikemukakan terkait proses pembentukan (metal forming) karena dalam proses pembuatan kawat akan terjadi proses reduksi penampang yang biasanya dilakukan dengan proses rolling atau ekstruksi¹⁰. Adapun hal yang diteliti adalah karakteristik dasar proses pengerolan panas paduan Alumunium-Zircon-Cerium, bagaimana hubungan perubahan presentase reduksi dan prosentase kandungan cerium dalam paduan terhadap konduktivitas listriknya.

BAHAN DAN METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental untuk mendapatkan komposisi paduan serium yang optimal pada paduan Al-Zr-Ce dengan variasi komposisi serium dan besar reduksi

proses hot rolling untuk mendapatkan daya hantar listrik yang baik. Pada Gambar 1 dapat dilihat diagram alir yang menggambarkan metode riset yang dilakukan.



Gambar 1.
Diagram Alir Penelitian

a. Perancangan/Peramuan Bahan dan Peleburan

Pada penelitian ini bahan baku yang digunakan terdiri dari ingot aluminium murni (99,98%), master alloy AlCe-10 (serium 10%) dan AlZr-5 (zirkonium 5%). Untuk mendapatkan perkiraan jumlah bahan baku yang akan dilebur sesuai dengan target komposisi paduan AlZrCe yang akan diteliti, maka terlebih dahulu dilakukan pembuatan *material balance*. Komposisi paduan yang akan dibuat adalah paduan alumunium dengan kandungan 0,12% Zr, sedangkan kandungan Ce divariasikan masing-masing 0,15; 0,3 dan 0,4% Ce. Hal ini mengacu pada penelitian terdahulu⁶ dengan kandungan 0,15% Ce.

Peleburan dilakukan pada tungku peleburan menggunakan krusibel dengan pemanas *burner*. Logam cair hasil peleburan dituang pada cetakan billet, seperti dapat dilihat pada Gambar 2.



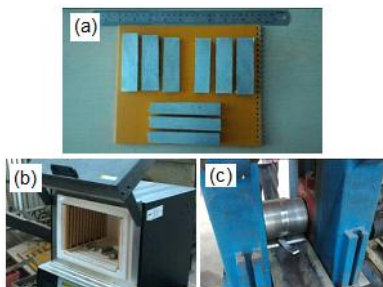
Gambar 2.
Proses Peleburan Paduan Al-Zr-Ce dan penuangan pada cetakan.

b. Proses pengerolan panas

Setelah dihasilkan billet dari hasil pengecoran, selanjutnya dilakukan simulasi percobaan *hot rolling* (pengerolan panas), dengan berbagai reduksi ketebalan. Sebelum proses *hot rolling* billet hasil pengecoran dimasing menjadi slab ukuran tebal berkisar 12 – 18 mm, dengan lebar 20 mm, dan panjang 80 mm. Proses *hot rolling* dilakukan pada temperatur 450 °C dan reduksi ketebalan 30% - 70%. Sampel dipanaskan (*reheating*) sampai temperatur 475 °C, lalu dirol pada temperatur 450 °C dengan kecepatan rol konstan 50 rpm, dengan terlebih dahulu mengatur rol gap untuk menentukan ketebalan akhir (besar reduksi) yang diinginkan. Pada Gambar 3 dapat dilihat persiapan sampel, proses *reheating* dan proses pengerolan. Dari hasil pengukuran sampel sebelum dan setelah dirol dapat dihitung besar reduksi pengerolan²⁾

$$r\% = \frac{t_o - t_f}{t_o} \times 100\% \quad (1)$$

dimana t_o adalah tebal sebelum dirol, dan t_f adalah tebal setelah dirol.



Gambar 3.
Percobaan hot rolling : (a) Sampel Uji (b), Pemanasan Sampel Dalam Furnace, dan (c) Proses Pengerolan

c. Pengujian/Karakterisasi

Untuk melihat perubahan daya hantar listrik, maka dilakukan pengukuran nilai

konduktivitas listrik dengan metode *Eddy current*. Pengukuran dilakukan pada sampel hasil pengecoran (billet), dan sampel setelah proses *hot rolling* dengan berbagai reduksi ketebalan dan berbagai paduan serium, dengan terlebih dahulu dilakukan pengukuran pada aluminium komersial (Al 99,98%), seperti dapat dilihat pada Gambar 4. Untuk keperluan pengukuran dilakukan preparasi permukaan sampel dengan proses *grinding*.



Gambar 4.
Uji Konduktivitas Listrik dengan Eddy Current

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL PENELITIAN

Rancangan peramuan bahan

Hasil rancangan *material balance* (peramuan) paduan AlZrCe untuk target komposisi masing-masing 0,15; 0,3 dan 0,4% Ce serta kandungan tetap 0,12% Zr dapat dilihat pada Tabel 1-3. Untuk paduan dengan 0,15% Ce, pada peleburan 25 kg paduan dibutuhkan aluminium murni (99,98%) 24,02 kg, AlCe-10 sebesar 2,45 kg dan AlZr-5 sebesar 1,48 kg (Tabel 1). Untuk komposisi Ce 0,3% dan 0,4% dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Dimensi Hasil Pengerolan Panas

Setelah pengerolan panas dilakukan pengukuran dimensi (tebal) sampel. Dari hasil pengukuran tebal sampel dapat dihitung besar reduksi yang dialami masing-masing sampel, seperti dapat dilihat pada Tabel 4. Pada tabel tersebut dapat diketahui besar reduksi yang dihasilkan berkisar 30 sampai 75%, dimana untuk mencapai ketebalan akhir sampel dirol panas sampai dengan 3 pas.

Hasil Uji Konduktivitas Listrik

Hasil pengukuran konduktivitas listrik untuk masing-masing paduan Al-Zr-Ce baik sebelum dan sesudah proses pengerolan

dapat dilihat Tabel 5. Hasil pengukuran mengacu pada paduan EC (99,6 Al) yang besarnya 63,4% IACS (The International Annealed Copper Standard)¹⁰.

Tabel 1.
Rancangan Material Balance Paduan Al-Ce-Zr untuk 0,15 % Ce

No	JENIS BAHAN	KOMPOSISI										%	kg	KOMPOSISI												
		Zr	Ce	Si	Fe	Cu	Ti	Zn	Mg	Al	Ni			Mn	Zr	Ce	Si	Fe	Cu	Ti	Zn	Mg	Al	Ni	Mn	
1	Ingot Al			0.04	0.14							99.8		96.07	24.02	0.00	0.00	0.04	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	95.90	0.00	0.00
2	AlZr5	5.01		0.12	0.23	0.00	0.0	0.01			94.62	0	0.004	2.45	0.61	0.12	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	2.32	0.00	0.00
3	AlCe-10		9.96	0.04	0.17	0.008		0.007	0.004		89.805	0.006	1.48	0.37	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.33	0.00	0.00	
Total												100.00	25.00	0.12	0.15	0.04	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.54	0.00	0.00	

Tabel 2.
Rancangan Material Balance Paduan Al-Ce-Zr untuk 0,3 % Ce

No	JENIS BAHAN	KOMPOSISI										%	kg	KOMPOSISI											
		Zr	Ce	Si	Fe	Cu	Ti	Zn	Mg	Al	Ni			Mn	Zr	Ce	Si	Fe	Cu	Ti	Zn	Mg	Al	Ni	Mn
1	Ingot Al			0.04	0.14							99.8	94.59	23.65	0.00	0.00	0.04	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	94.42	0.00	0.00
2	AlZr5	5.01		0.12	0.23	0.00	0.0	0.01			94.62	0	0.004	2.41	0.60	0.12	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	2.28	0.00	0.00
3	AlCe-10		9.96	0.04	0.17	0.008		0.007	0.004		89.805	0.006	2.99	0.75	0.00	0.30	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	2.69	0.00	0.00	
Total												100.00	25.00	0.12	0.30	0.04	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.39	0.00	0.00

Tabel 3.
Rancangan Material Balance Paduan Al-Ce-Zr untuk 0,4 % Ce

No	JENIS BAHAN	KOMPOSISI										%	kg	KOMPOSISI											
		Zr	Ce	Si	Fe	Cu	Ti	Zn	Mg	Al	Ni			Mn	Zr	Ce	Si	Fe	Cu	Ti	Zn	Mg	Al	Ni	Mn
1	Ingot Al			0.04	0.14							99.8	93.61	23.40	0.00	0.00	0.04	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	93.44	0.00	0.00
2	AlZr5	5.01		0.12	0.23	0.00	0.0	0.01			94.62	0	0.004	2.39	0.60	0.12	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	2.26	0.00	0.00
3	AlCe-10		9.96	0.04	0.17	0.008		0.007	0.004		89.805	0.006	4.00	1.00	0.00	0.40	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	3.59	0.00	0.00	
Total												100.00	25.00	0.12	0.40	0.04	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.29	0.00	0.00

Tabel 4.
Dimensi master paduan Al-Zr-Ce Paduan Al-Ce-Zr Sebelum dan Sesudah Pengerolan Panas dengan Reduksi 30-70%

No.	Kandungan Ce (%) Paduan AlZrCe	Dimensi Awal t ₀	Pas 1		Pas 2		Pas 3	
			t ₁	(r %)	t ₂	(r %)	t ₃	(r %)
1	0,15	11,85	7,78	34,35	6,13	48,27	4,31	63,63
2	0,30	13,68	9,52	30,38	6,23	54,44	4,44	67,53
3	0,40	17,73	11,80	33,43	6,25	64,74	4,30	75,74

Tabel 5
Hasil Uji Konduktivitas Listrik Untuk Masing-Masing Paduan Al-Zr-Ce Baik Sebelum Dan Sesudah Proses Pengerolan Panas

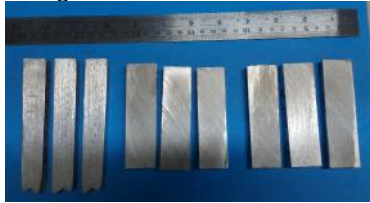
Kondisi	Reduksi %	Nilai konduktivitas Listrik (%IACS)
Al murni	0.0%	63.40
AlZr Ce-Ce 0.15	0.0%	60.23
AlZr Ce-Ce 0.15 HR1	34.3%	59.05
AlZr Ce-Ce 0.15 HR2	48.3%	61.44
AlZr Ce-Ce 0.15 HR3	63.6%	60.68
AlZr Ce-Ce 0.30	0.0%	62.10
AlZr Ce-Ce 0.3 HR1	33.4%	61.45
AlZr Ce-Ce 0.3 HR3	67.5%	62.07
AlZr Ce-Ce 0.4	0.0%	60.62
AlZr Ce-Ce 0.4 HR2	64.7%	61.16
AlZr Ce-Ce 0.4 HR3	75.7%	60.59

PEMBAHASAN

Analisa Kemampuan Reduksi Proses Pengerolan Panas

Dari hasil pengerolan panas yang dilakukan pada master paduan AlZrCe dengan kandungan masing-masing 0,15; 0,3; dan 0,4% Ce serta 0,12% Zr (Tabel 4) diketahui bahwa ketiga jenis paduan mampu direduksi sebesar 63-75,74%. Kemampuan reduksi terbesar terjadi pada paduan AlZrCe dengan kandungan 0,4% Ce sebesar 75,74% kemudian kandungan 0,3% Ce sebesar 67,53% dan paling akhir kandungan 0,15% Ce sebesar 63,63%. Secara visual seperti dapat dilihat pada Gambar 5 menunjukkan paduan AlZrCe dapat dirol

panas dengan reduksi total mencapai 75% tanpa mengalami kerusakan atau retak.



Gambar 5
Foto Visual Hasil Pengerolan Pada Paduan AlZrCe

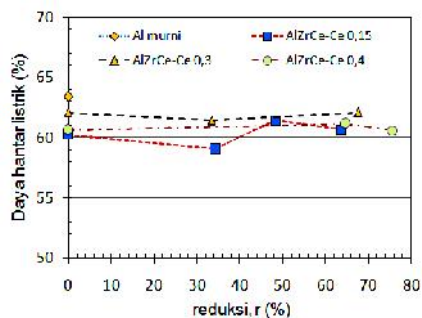
Analisa Sifat Konduktivitas Listrik

Sebagai acuan dalam pengujian konduktivitas listrik paduan AlZrCe adalah konduktivitas aluminium murni EC (99,6% Al) yang besarnya 63,4% IACS (The International Annealed Copper Standard)¹¹).

Dari hasil pengujian konduktivitas listrik paduan AlZrCe dalam kondisi as-cast atau reduksi 0% (Tabel 5 dan Gambar 6) diketahui penambahan unsur Ce sedikit menurunkan konduktivitas panas. Penurunan terbesar terjadi pada kandungan 0,15% Ce menjadi 60,23% IACS, kemudian 0,4% Ce menjadi 60,63% IACS dan terakhir 0,3% Ce menjadi 62,06% IACS.

Sebagai pembandingan dari penelitian sebelumnya, diketahui komposit matriks paduan AlZrCe berpenguat partikel alumina (Al_2O_3) dengan kandungan 0,15% Ce hasil pengerolan dingin memiliki konduktivitas listrik berkisar 56,3-62% IACS⁵. Artinya hasil proses pengerolan panas master paduan AlZrCe sudah dapat mencapai nilai konduktivitas listrik seperti setelah proses akhir (rol dingin), khususnya pada paduan AlZrCe dengan kandungan 0,3% Ce yang nilainya dapat mencapai 62,07% IACS.

Mengacu pada data hasil pengerolan panas (Table 5 dan gambar 6) terlihat adanya fluktuasi turun naiknya konduktivitas listrik karena kenaikan presentasi reduksi.



Gambar 6
Grafik Hubungan Nilai Konduktivitas Listrik (%IACS) terhadap % Kandungan Ce dalam

paduan Al-Zr-Ce dan Besar Reduksi Pengerolan Panas

Pada kadar 0,15 % dan 0,3% Ce justru terjadi penurunan konduktivitas listrik saat reduksi sekitar 33-35%, namun setelah itu dengan bertambahnya reduksi konduktivitas listrik naik kembali dan bahkan melebihi seperti sebelum direduksi. Peningkatan konduktivitas listrik maksimal justru terjadi pada reduksi 48,3% untuk kadar Ce 0,15%, reduksi 67,05% untuk kadar Ce 0,3%. Sedangkan untuk kadar Ce 0,4% terjadi pada reduksi 75,7%. Setelah itu terlihat penurunan kembali konduktivitas. Informasi ini tentu dapat menjadi pertimbangan dalam penentuan reduksi dalam memproduksi kawat dengan ukuran tertentu sehingga konduktivitas listriknya tidak menurun. Terjadinya fluktuasi ini diperkirakan karena reduksi yang dilakukan dalam kondisi pengerolan panas, sehingga sebagian butir kristal hasil rol mengalami rekristalisasi. Berbeda dengan kondisi pengerolan dingin dimana terjadi perubahan bentuk dan orientasi butir kearah pengerolan akan meningkatkan konduktivitas listrik⁶) apalagi kalau reduksinya semakin besar.

Bila diamati dari kandungan Ce yang terdapat pada paduan AlZrCe, maka terlihat peningkatan kandungan Ce sampai jumlah tertentu menaikkan konduktivitas listrik. Paduan AlZrCe dengan kandungan 0,3%Ce memiliki konduktivitas tertinggi, namun kembali turun untuk kandungan 0,4% Ce. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Pengfei, dkk.⁵) yang melaporkan pengaruh kandungan Ce pada rentang 0,05%-0,15% terhadap konduktivitas listrik batang aluminium, dimana konduktivitas listrik meningkat dengan penambahan Ce. Selain itu hasil penelitian Kirman, dkk.⁷) menyatakan bahwa unsur Ce berperan membantu mengikat pengotor-pengotor dalam aluminium seperti Si dan Fe dalam fasa intermetalik, disamping juga sebagai penghalus butir^{2, 4, 6}), sehingga dapat meningkatkan konduktivitas terutama setelah pengerolan dingin. Sementara itu hasil penelitian Chandrashekar, dkk.¹²) menunjukkan dengan semakin halus ukuran butir akan meningkatkan daya hantar listrik paduan aluminium. Hal ini menunjukkan deformasi melalui proses pengerolan panas atau pengerolan dingin dengan reduksi yang semakin besar akan menghasilkan struktur mikro dengan butir yang semakin halus, sehingga dapat meningkatkan daya hantar listrik.

Dari Gambar 6 terlihat bahwa hasil konduktivitas listrik optimal yang dapat dicapai terjadi pada master paduan AlZrCe dengan kandungan 0,3% Ce yang telah dirol panas dengan reduksi sebesar 67,5%. Besar konduktivitas listrik yang diperoleh adalah 62,07% IACS mendekati bahan EC (99,6% Al) yang memiliki konduktivitas listrik 63,4% IACS.

SIMPULAN

Paduan AlZrCe dapat dirol panas (*hot rolling*) tanpa mengalami kerusakan dengan total reduksi penampang sebesar 63-75,74% dan memberi kontribusi meningkatkan konduktivitas listrik. Penambahan kandungan Ce baik pada kondisi as-cat maupun hasil rol panas menaikkan konduktivitas listrik. Kenaikan ini mencapai puncak pada kandungan Ce 0,3% kemudian mengalami penurunan kembali pada kandungan 0,4% Ce (namun masih lebih tinggi dari kondisi 15% Ce. Hasil konduktivitas listrik optimal yang diperoleh terjadi pada master paduan AlZrCe dengan kandungan 0,3% Ce yang telah dirol panas dengan reduksi sebesar 67,5% yang nilainya 62,07% IACS mendekati bahan EC (99,6% Al) yang memiliki konduktivitas listrik 63,4% IACS.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan pada teman teman di B2TKS-BPPT yang telah membantu memfasilitasi beberapa pengujian terutama untuk pengujian konuktivitas listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Pat L. Mangonon, Ph.D, "The Principles of Materials Selection for Engineering Design", Prentice Hall, Inc., USA, 2012.
- 2) William D. Callister, *Fundamentals of Materials Science and Engineering*, New York, John Wiley & Sons, Inc., 2012,
- 3) Serope Kalpakjian, *Manufacturing Engineering & Technology*, USA, Prentice Hall Inc., 2014
- 4) Pan, F., Edmond, D.V., Zhou S., and Ding, P., *Effect of Rare Earth Metals on Electrical Conductivity and Mechanical Properties of Commercial Purity Aluminum*, *Material Science and Technology*, Vol.10, (1994)
- 5) Li Pengfei, Wu Zhigang, Wang Yunli, Gao Xizhu, Wang Zaiyun, Li Zhiqiang, *Effect Of Cerium On Mechanical Performance And Electrical Conductivity of Aluminum Rod for Electrical Purpose*, *Journal of Rare Earth*, Vol.24, Spec. Issue, (Dec. 2006), p. 355.
- 6) Kirman, M. Anne Zulfia, Sutopo, Bambang Suharno, *Investigation On Mechanical Properties of AlZrCe-Al₂O₃ Nanocomposites Fabricated by Stir Casting*, IOP Conference Series: Material Science and Engineering 58 (2014) 012009
- 7) Kirman, M; Maulana, Panji; Zulfia, Anne, *Characteristics of AlZrCe-Al₂O₃ Nanocomposites Produced by Stir Casting Method as an Alternative Material for Electrical Applications*, *Advanced Science Letters*, Volume 20, Numbers 10-12, October 2014, pp. 2271-2274(4) 5 www.lme.com, LME September 2015.
- 8) MV.Purwani, *Prospek Pendirian Pabrik Pembuatan Logam Tanah Jarang Oksida dari Monasit*. Presentasi di Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan Tenaga Nuklir Nasional Yogyakarta. 2013.
- 9) Faizal R, Hafni LN, Budi S, Sugeng W, Susilaningtyas, *Pengolahan Monasit dari Limbah Penambangan Timah : Pemisahan Logam Tanah Jarang (RE) dari U dan Th*. Prosiding Presentasi Ilmiah Bahan Bakar Nuklir V P2TBDU dan P2BGN-BATAN Jakarta.2000
- 10) Sidney H. Avner, "Introduction to Physical Metallurgy", MC. Graw-Hill Inc., 2004.
- 11) Suhartono, Agus H., *Analisa Kehandalan Mekanik Kabel Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi*, *Jurnal Sains dan Teknologi*, Vol. 6 No 2. (Agustus 2004) p. 23-31.
- 12) Chandrashekar T., Muralidhara, M.K., Kashyap, K.T, Rao, P.R., "Effect of Growth Restricting Factor on Grain Refinement of Aluminium Alloys", *International Journal of Advance Manufacturing Technology*, 40, (2009), 234-241.