

PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI SISTEM SEL ($\text{Na}/\beta\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{S}$)

S.Purnama, E. Kartini, A.Sitompul, P.Purwanto dan M. Silalahi

Puslitbang Iptek Bahan (P3IB) – BATAN
Kawasan Puspipetek Serpong, Tangerang 15314

ABSTRAK

PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI SISTEM SEL ($\text{Na}/\beta\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{S}$). Bahan berbasis alumina telah digunakan sebagai elektrolit padat untuk pembuatan sistem sel ionik dengan Na sebagai anoda dan S sebagai katoda. Bahan elektrolit padat berbentuk tabung telah dibuat dan dikarakterisasi dengan difraksi sinar-X, konduktivitas ionik diukur terhadap variasi suhu dan variasi frekuensi dengan metode dua probe dan dengan alat LCR-meter, dan dibuat model sel ionik dengan elektrolit berbentuk tabung. Hasil difraksi sinar-X menunjukkan bahwa fasa yang terbentuk adalah $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan sistem kristal heksagonal dan parameter $a = 5,636 \text{ \AA}$ dan $c = 34,526 \text{ \AA}$, besar konduktivitas ionik adalah $10^{-3} \text{ ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ pada suhu kamar dan $10^{-2} \text{ ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ pada suhu 300°C , karakteristik *charge-discharge* dan polarisasi terhadap sistem pada suhu ruang. Dapat disimpulkan bahwa konfigurasi sel ionik ($\text{Na}/\beta\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{S}$) dapat berfungsi sebagai sistem sel. Sel dapat berfungsi dengan besar tegangan OCV sebesar 1,5 Volt, dan besar arus 12 mA. Dimensi elektrolit tabung yang digunakan diameter luar 30mm, diameter dalam 20 mm, dan tinggi 35 mm.

Kata kunci : $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$, Konduktivitas ionik, Sel ionik $\text{Na}/\beta\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{S}$.

ABSTRACT

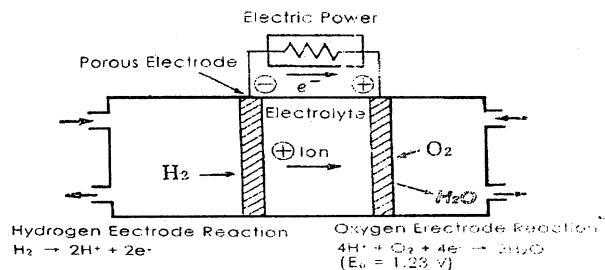
SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF CELL SYSTEM ($\text{Na}/\beta\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{S}$). The alumina-based material had been used as electrolyte in ionic cell system with Sodium (Na) as the anoda and Sulfur (S) as the cathode. The tube of solid state electrolyte has been synthesized and characterized by x-ray diffraction, temperture dependent and freqwency dependent ionic conductivity have been measured by two probe methode and LCR-meter, and has been made ionic cell model with tube electrolyte. Crystal system is hexagonal that identified by using x-ray diffraction and the lattice parameter crystal are $a = 5.636 \text{ \AA}$ and $c = 34.526 \text{ \AA}$, ionic konduktiviy is $10^{-3} \text{ ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ at room temperature and $10^{-2} \text{ ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ at temperature 300°C . The charge-discharge characteristics measurements and the system polarization at room temperature. It can be deduced that the cell configuration cell ionic $\text{Na}/\beta\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{S}$ has performed as a cell system. The cell performed well with OCV up to 1,5 Volt, and current about 12 mA. The tube of solid state electrolyte has dimation of 30 mm outer diameter, 20 mm inner diameter, and 35 mm height.

Key words : $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$, Ionic conductivity, Ionic cell $\text{Na}/\beta\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{S}$.

PENDAHULUAN

Penelitian dan pengembangan bahan elektrolit padat beta alumina atau BASE (*Beta Alumina Solid Electrolyte*) telah banyak dilakukan khususnya dalam hal proses pembuatan dan penggunaannya dalam sistem sel [2,4]. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa efisiensi daya pada sistem sel masih dapat di naikan, salah satu caranya dengan memperbaiki kualitas elektrolit padat beta alumina dan modifikasi pada elektroda. Proses pengembangan kualitas bahan elektrolit padat terus berkembang pesat, hal ini banyak dilakukan untuk digunakan dalam pengembangan sel baterai sekunder, sel penyimpan energi, sel bahan bakar yang dapat diisi ulang dan menghasilkan energi yang cukup besar pada jangka waktu yang cukup lama.

Sel bahan bakar (*fuel cell*) adalah suatu sistem sel yang dapat mengubah energi elektrokimia menjadi energi listrik. Prinsip sistem sel ini adalah penguraian suatu atom atau senyawa pada anoda yang menjadi sumber elektron dan ion, lihat Gambar 1.



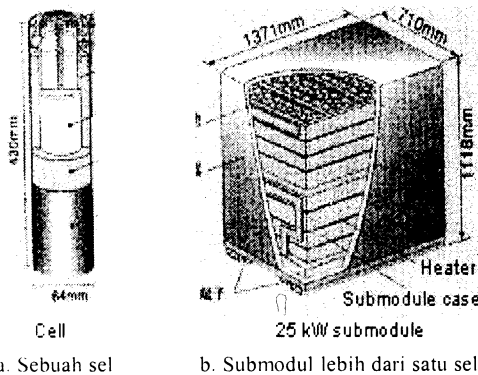
Gambar 1. Skema sistem *fuel cell* [1]

Selama proses pada sistem berlangsung, energi listrik akan tersedia, selama bahan bakar sebagai sumber elektron dari penguaraian atom atau senyawa tersedia. Contoh bahan bakar hidrogen, dimana melalui elektrolit padat ionik akan terurai menjadi ion hidrogen yang melalui elektrolit padat ionik dan elektron yang akan menjadi sumber energi listrik.

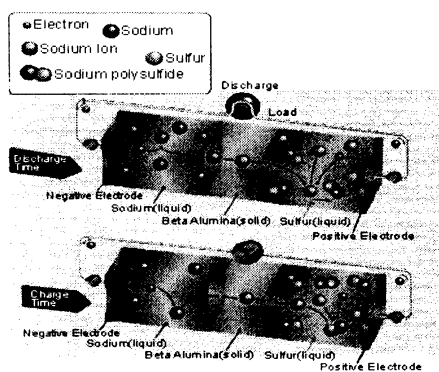
Sistem sel yang lain, yaitu dengan diisi ulang. Salah satu contoh adalah sel ionik dengan menggunakan bahan elektrolit padat β'' Al_2O_3 . Pada sistem ini digunakan elektroda Na sebagai anoda dan S sebagai katoda, ketika sistem bekerja unsur Na terurai menjadi ion Na^+ dan elektron e^- , ion Na^+ bergerak melalui elektrolit padat β'' Al_2O_3 menuju elektroda katoda dan terjadi reaksi dengan bahan S. Besar tegangan tergantung pada beda potensial antara elektroda anoda dan katoda, sedangkan besar arus tergantung pada jumlah ion Na^+ yang bergeak melalui elektrolit padat yang tergantung pada konduktivitas ionik pada bahan elektrolit padat tersebut dan luas permukaan elektrolit padat. Sehingga elektrolit padat β'' Al_2O_3 tersebut dibentuk berupa tabung untuk mendapatkan arus yang lebih besar. Besar tegangan dapat dicapai dengan merangkai beberapa sel ionik secara seri. Sistem sel ini telah dilakukan percobaan untuk sistem penyimpanan energi dan pula untuk mesin listrik pada kendaraan bermotor.

dan keramik salah satunya adalah bahan elektrolit padat β'' Al_2O_3 yang dapat digunakan pada sistem sel ionik. Penelitian yang dilakukan adalah sintesis bahan dan pembentukan bahan dan penggunaannya dibuat model sistem sel. Karakterisasi bahan yang dibuat dilakukan dengan difraksi sinar-X untuk mengetahui struktur bahan, alat LCR atau konduktivitas meter untuk mengetahui besar konduktivitas ionik, DSC atau DTA untuk mngetahui sifat termal bahan. Karakterisasi unjuk kerja suatu sistem sel mencakup beberapa parameter, antara lain tegangan OCV (voltase rangkaian terbuka), waktu operasi sel, kapasitas isi-ulang dan densitas energi. Dari parameter-parameter dapat diketahui unjuk kerja sistem, sehingga dapat mendukung diagnostik dan penyempurnaan unjuk kerja sistem sel. Penelitian sistem sel ionik Na/ β'' Al_2O_3 /S telah dilakukan sebelumnya oleh peneliti lain [2]. Sistem ini dapat bermanfaat untuk digunakan sebagai energi alternatif dan sistem ini masih terus dilakukan pengembangan untuk mendapatkan energi yang lebih besar.

Fokus penelitian pada tahap pertama adalah penggunaan bahan elektrolit padat β'' Al_2O_3 yang dapat digunakan pada model sistem sel ionik yang berfungsi sebagai sistem penyimpanan energi. Hasil-hasil pengukuran karakteristik unjuk kerja sel ionik disajikan bersama dengan parameter-parameter unjuk kerja sel, OCV, kapasitas isi-ulang dan densitas energi.



a. Sebuah sel b. Submodul lebih dari satu sel



c. Prinsip kerja isi ulang sel ionik Na/ β'' Al_2O_3 /S

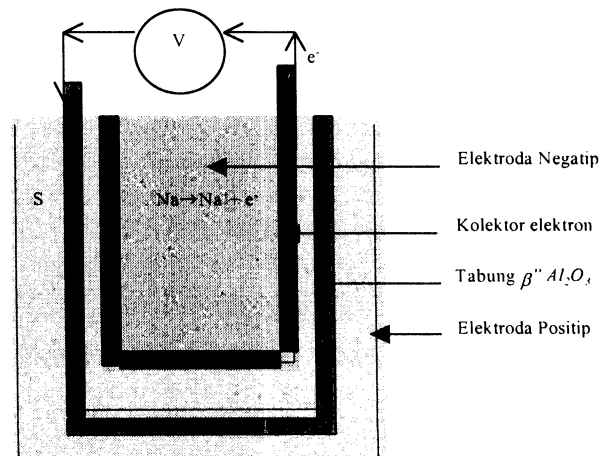
Gambar 2. Model sistem sel ionik Na/ β'' Al_2O_3 /S [2]

Pada saat ini di P3IB-BATAN sedang dilakukan penelitian elektrolit padat superionik yang berbasis gelas

METODE PERCOBAAN

Preparasi Cuplikan Elektrolit

Serbuk elektrolit beta-alumina (β'' - Al_2O_3) disintesis melalui reaksi kimia. Bahan α - Al_2O_3 , Na_2O , dan LiO , dengan perbandingan komposisi berat α - Al_2O_3 : Na_2O : LiO adalah 85 : 14 : 1 dalam persen berat. Bahan-bahan tersebut dicampur sampai tercampur secara homogen, lalu dilakukan kalsinasi pada suhu 650°C selama 2 jam. Bahan didinginkan dan digerus sampai halus dan siap dilakukan pencetakan atau pengepresan berbentuk pelet dan tabung.



Gambar 3. Desain model sel ionik Na/ β'' Al_2O_3 /S

Setelah bahan dicetak berbentuk pelet dan tabung dilakukan pemanasan pada suhu 1600°C selama 2 jam, dilakukan karakterisasi dan dibuat model sel ionik seperti Gambar 1.

Elektroda positif merupakan sumber ion Na dari bahan atom Na yang pada kondisi tertentu terurai menjadi Na^+ dan e^- , dimana ion Na^+ bergerak ke tabung elektrolit $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang dapat mentransfer ion ke dalam dinding tabung elektrolit padat $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang kecepatannya tergantung pada konduktivitas bahan elektrolit tersebut. Sedangkan e^- elektron bergerak ke logam kolektor yang dialirkan ke luar sel melalui voltmeter sehingga dapat diukur besar tegangan dan arus dengan metode OCV.

Ion Na^+ yang bergerak melalui bahan elektrolit tabung akan bergerak terus sampai elektroda negatif Sulfur (S) yang akan bereaksi menjadi senyawa Na_2S_y ($Y= 6,4,2$) sampai terjadi reaksi maksimum (jenuh) ion Na^+ tidak dapat bergerak lagi. Untuk itu dilakukan pengisian ulang dengan memberikan muatan negatif pada elektroda positif dan muatan positif pada elektroda negatif sehingga terjadi penguraian senyawa Na_2S_y menjadi Na dan S, dan ion Na bergerak kembali ke elektroda positif. Hal ini merupakan proses siklus sistem sel ionik yang dapat diisi ulang.

Karakterisasi dan Analisis Sistem Sel Ionik

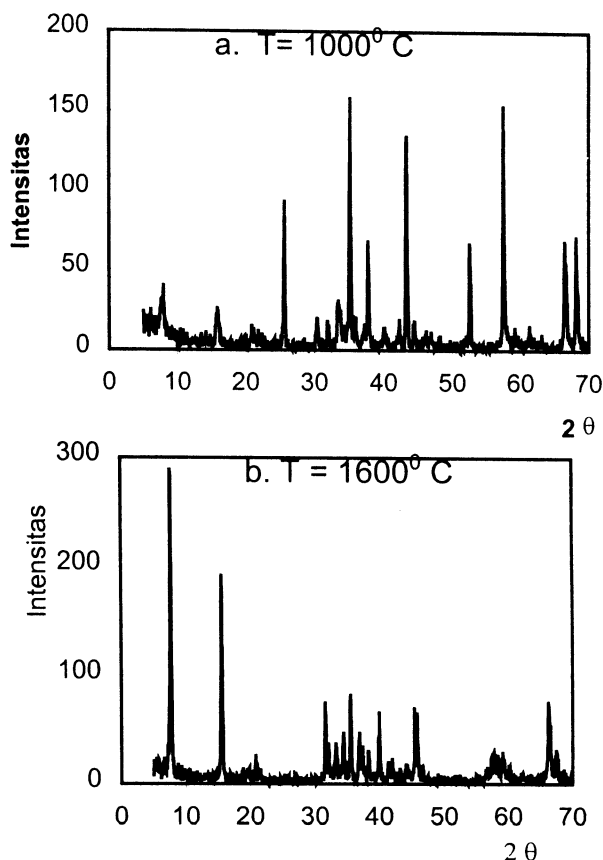
Dari hasil sintesis tersebut dilakukan beberapa karakterisasi. Untuk mengetahui fasa yang terbentuk dilakukan pengukuran dengan alat difraksi sinar-X, konduktivitas ionik diukur dengan alat LCR-meter, dan dibuat sistem sel ionik dengan menggunakan elektrolit tabung. Pada konstruksi model sel ionik tipe anoda/elektrolit/katoda, maka sebagai bahan anoda digunakan bahan campuran yang mengandung unsur Natrium (Na), sebagai pembawa muatan pada bahan elektrolit adalah ion Na^+ . Bahan katoda digunakan unsur Sulfur (S) yang dapat mengikat ion Na^+ dan melepaskan ion Na^+ bila dilakukan isi ulang. Ketiga komponen tersebut ditempatkan seperti pada Gambar 1, dan ditempatkan dalam sebuah tabung *pyrex* dan ditutup dengan alumina, setelah ditambah bahan konduktor pada sisi-sisi luarnya. Sel ionik ini kemudian dikarakterisasi dengan pengukuran polarisasi, pengukuran tegangan pada pemuatan dengan arus tetap dalam waktu tertentu, serta karakterisasi bentuk profil *discharge* dalam waktu tertentu .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola difraksi sinar-X, untuk bahan yang dipanaskan pada suhu 1000°C dan 1600°C selama 2 jam terdapat pada Gambar 4, hasil analisis menunjukkan bahwa bahan tersebut mempunyai struktur kristal heksagonal. Data dari pola difraksi sinar-X dianalisis dan dikalkulasi dengan menggunakan persamaan *Bragg*,

bahwa bahan yang dipanaskan pada suhu 1000°C mempunyai fasa $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang lebih banyak dengan struktur kristal heksagonal, dan parameter kisi $a = 5,52 \text{ \AA}$ dan $c = 15,10 \text{ \AA}$, sedangkan bahan yang dipanaskan pada suhu 1600°C selama 2 jam mempunyai fasa $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang relatif puncak-puncak lebih banyak dan intensitas lebih tinggi dengan struktur kristal heksagonal, dan parameter kisi $a = 5,61 \text{ \AA}$ dan $c = 33,85 \text{ \AA}$ [3].

Dari hasil difraksi sinar-X dilakukan kalkulasi untuk mengetahui posisi puncak-puncak difraksi (2θ), lebar setiap puncak difraksi (β), dan hasilnya pada Tabel 2. Lalu dibuat plot linier antara $\sin \theta / \lambda$ terhadap $\beta \cos \theta / \lambda$.



Gambar 4. Pola difraksi bahan $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ pada $T=1000^\circ\text{C}$ dan 1600°C

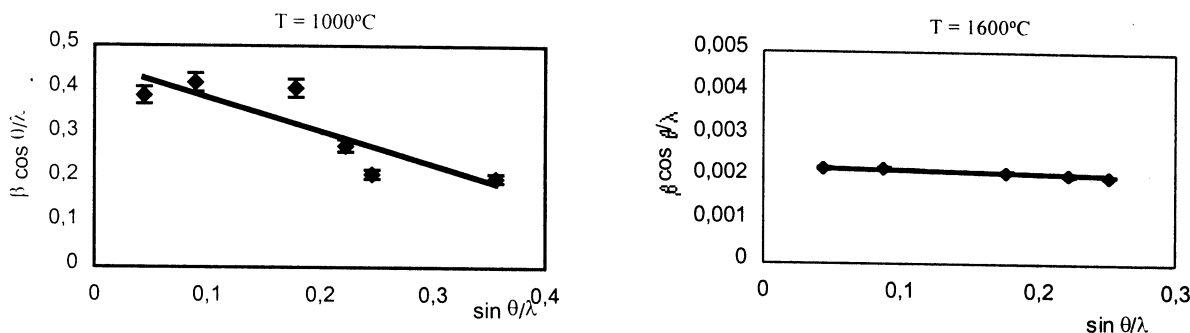
Dari persamaan linier tersebut dapat dihitung besar regangan kisi η untuk bahan $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan menggunakan persamaan *Hall*.

Gambar 5 menunjukkan hubungan antara $\beta(\cos \theta / \lambda)$ terhadap $\sin \theta / \lambda$ untuk bahan $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ pada suhu 1000°C dan 1600°C .

Harga regangan kisi η diperoleh dari kemiringan kurva hasil plot. Hasil menunjukkan bahwa bahan $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ pada suhu 1000°C mempunyai regangan kisi sebesar $-0,3815$ lebih besar dibandingkan pada suhu 1600°C sekitar $-0,0004$. Hal ini disebabkan pada suhu 1000°C mulai terjadi pertumbuhan butir $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ dan masih terjadi perubahan deformasi pada kristalit tersebut.

Tabel 1. Hasil plot dengan menggunakan persamaan Lorentzian

No.	Puncak difraksi	Bahan $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$									
		T=1000°C					T=1600°C				
		2θ	β	$\beta \cos \theta$	$\sin \theta/\lambda$	$\beta \cos \theta/\lambda$	2θ	β	$\beta \cos \theta$	$\sin \theta/\lambda$	$\beta \cos \theta/\lambda$
1.	003	7,80	0,010	0,5988	0,0441	0,3883	7,70	0,003	0,0035	0,0434	0,00225
2.	006	15,85	0,011	0,6435	0,0895	0,4173	15,60	0,003	0,0345	0,0882	0,00223
3.	00 12	31,95	0,011	0,6246	0,1783	0,4051	31,65	0,003	0,0035	0,1776	0,00217
4.	00 15	40,10	0,008	0,4230	0,2224	0,2743	39,98	0,003	0,0032	0,2218	0,00212
5.	02 11	44,50	0,006	0,3237	0,2458	0,2099	45,80	0,003	0,0583	0,2523	0,00208
6.	220	66,55	0,006	0,3093	0,3560	0,2006	66,35	0,007	0,0058	0,3547	0,00378



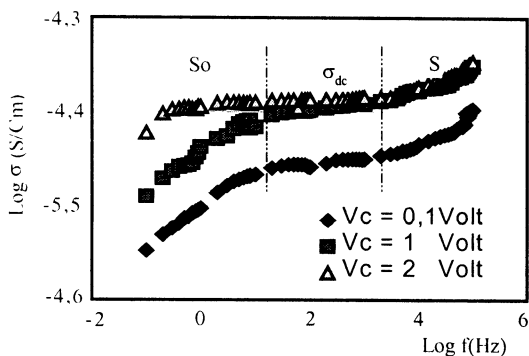
Gambar 5. Kurva antara $\beta(\cos \theta/\lambda)$ terhadap $\sin \theta/\lambda$ untuk bahan $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$

Pembentukan bahan elektrolit padat $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ perlu dipanaskan pada suhu diatas 1000°C supaya mendapatkan bahan elektrolit padat $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang lebih baik.

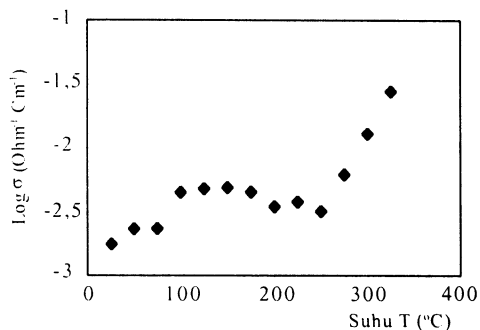
Gambar 6 adalah hasil pengukuran konduktivitas ionik dengan variasi frekuensi dengan perbedaan tegangan 0,1; 1 ; dan 2 V. Dari grafik tersebut dapat dihitung eksponen *power* (s) dengan persamaan berikut :

$$\sigma(f) = \sigma_{dc} + A(f)^s$$

Dilakukan analisis dengan *regresi* linier pada data Gambar 3, sehingga didapat besar *s* , sebagai berikut :



Gambar 6a. Grafik antara $\log \sigma$ terhadap $\log f$



Gambar 6b. Grafik antar $\log \sigma$ terhadap T

Tabel 2. Besar eksponen *power* (s)

No	Konstanta Teg., Cv (Volt)	Eksponen <i>power</i> (s)	Konduktivitas, σ_{dc} (Siemen/cm)
1.	0.1	0,029	$0,380 \cdot 10^{-4}$
2.	1	0,021	$0,429 \cdot 10^{-4}$
3.	2	0,023	$0,433 \cdot 10^{-4}$

Bahan $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ pada tegangan antara 1 volt dan 2 volt mempunyai *eksponen power* (s) ; 0,021 dan 0,023 atau relatif sama, sedangkan pada tegangan 0,1 volt, besar *s* adalah 0,029. Makin kecil eksponen *power* (s) makin konstan gerak ion pada bahan tersebut. Pada Cv=2 volt, konduktivitas ionik cukup tinggi pada frekuensi rendah sampai tinggi dengan eksponen (s) kecil atau gerakan ionik pada bahan tersebut konstan, walaupun bahan tersebut ada pengaruh frekuensi. Konduktivitas listrik pada bahan terjadi karena pada bahan tersebut masih dipengaruhi

oleh porositas (pori) dan batas butir, hal ini akan menyebabkan pembesaran celah batas butir tersebut bila dilakukan pemanasan dan menyebabkan terjadinya penyerapan uap air disekitarnya.

Pada Gambar 6b Kurva antara $\log \sigma$ terhadap suhu, terdapat penurunan konduktivitas mulai suhu 150°C sampai 250°C . Hal ini diduga karena adanya penghalang gerakan ion-ion yang kemungkinannya uap air.

Dengan elektroda yang digunakan yaitu campuran Natrium dan Sulfur akan menghasilkan tegangan OCV sekitar 2 Volt. Besar daya yang dihasilkan dapat dinaikan dengan cara memperluas permukaan tabung atau membuat tabung yang lebih besar sehingga didapat arus yang lebih besar.



Gambar 7. Pengukuran pada sel ionic pada suhu kamar

Tabel 3. Data hasil pengukuran

No	I (mA)	V (Volt)	T (Menit)	W (Joule)	P (Watt)
1	$6 \cdot 10^{-3}$	0,8	180	0,864	
2	$15 \cdot 10^{-3}$	1,3	-	-	0,02

Hasil kalkulasi besar energi listrik yang dihasilkan W, adalah 0,864 Joule, dan besar daya listrik, P adalah $19,5 \cdot 10^{-3}$ watt. Dimensi elektrolit tabung yang digunakan dengan diameter 30 mm, tinggi 35 mm (besarnya sepuluh kali lebih kecil dari model sebenarnya). Pada Gambar 8a dan Gambar 8b, diketahui besar arus dan tegangan pada $\frac{1}{2}$ jam pertama adalah 6 mA dan 0,8 Volt, sehingga dapat dikalkulasi besar energi listrik;

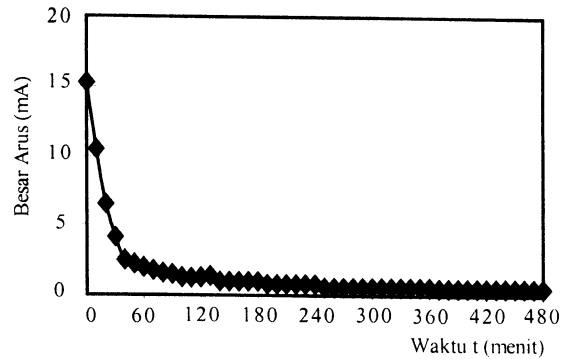
$$W = V \cdot I \cdot t \text{ (Voltase.Ampere.detik atau Joule)}$$

$$= 0,8 \times 6 \cdot 10^{-3} \times 180 = 0,864 \text{ Joule .}$$

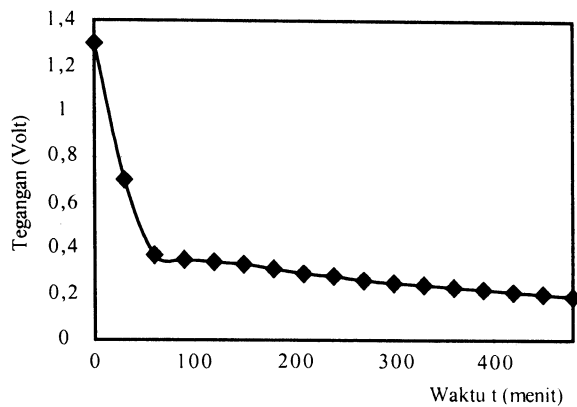
Sedangkan daya maksimum yang dihasilkan adalah $I_{\max} = 15 \text{ mA}$, dan $V_{\max} = 1.3 \text{ Volt}$, sehingga Daya

$$P = V \cdot I \text{ (Voltase. Ampere atau Watt)}$$

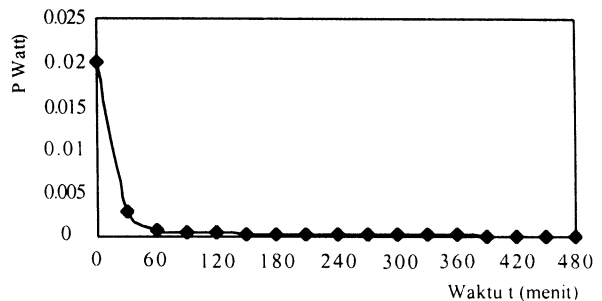
$$= 1,3 \times 15 \cdot 10^{-3} = 19,5 \cdot 10^{-3} \text{ Watt}$$



Gambar 8a. Besar Arus terhadap waktu



Gambar 8b. Besar tegangan terhadap waktu

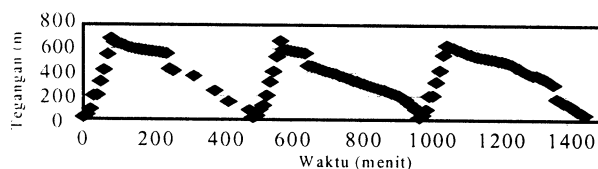


Gambar 8c. Besar power yang dihasilkan pada suhu kamar

Pada Gambar 8a adalah grafik arus terhadap waktu, sedangkan pada Gambar 8b adalah grafik tegangan terhadap waktu. Pengukuran ini dilakukan pada suhu kamar untuk menguji unjuk kerja elektrolit padat tabung $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$. Pada Gambar tersebut terjadi penurunan arus dan tegangan pada 1 jam pertama dan selanjutnya relatif konstan, hal ini kemungkinan terbentuknya lapisan tahanan pada permukaan antara elektrolit padat dan elektroda Natrium. Pada suhu kamar konduktivitas ionik pada bahan relatif rendah karena pada suhu tinggi akan mudah terjadi penyerapan uap air pada porositas atau batas butir, sehingga bahan perlu kerapatan yang tinggi .

Data diatas diukur pada suhu kamar (27°C) besar tegangan dengan metode OCV adalah 1,4 volt sedangkan besar arus adalah 11 mA. Pada 2 jam pertama terjadi penurunan drastis sampai tegangan 0,4 volt dan arus

2 mA, hal ini terjadi karena ion Na yang akan melalui elektrolit padat tabung β'' Al_2O_3 tertahan, pada suhu kamar bahan tersebut mempunyai konduktivitas relatif kurang baik yang akan menjadi lapisan tahanan (ohm) ion Na pada dinding tabung elektrolit tersebut. Untuk itu perlu dilakukan pemanasan pada sel tersebut sehingga konduktivitas elektrolit pada tabung akan naik sehingga transfer ion Na akan lebih cepat.



Gambar 9. Siklus isi ulang sistem sel ionik Na/ β'' Al₂O₃/S pada T = 27°C

- [6]. SAFEI PURNAMA ANTHONIUS S, P. PURWANTO, AZISK. JAHYA, dan SANTIANI, "Pembuatan Tabung Elektrolit Padat Superionik Al₂O₃ Untuk Sistem Sel Ionik", *Prosiding Pertemuan Ilmiah Iptek Bahan '02*, Serpong(2002), 179-183.
- [7]. SURESH CHANDRA, *Superionic Solid, Principles and Applications*, North Holland Publishing Company, Amsterdam, (1981).

KESIMPULAN

1. Bahan elektrolit β'' Al₂O₃ dapat dibuat dengan konduktivitas ionik 10⁻⁴ pada suhu kamar, dan 10⁻³ pada suhu 300°C. Parameter kisi bahan adalah a = 5,61 Å, dan c = 33,85 Å, yang merupakan fasa β'' Al₂O₃ dengan sistem kristal heksagonal.
2. Tabung elektrolit β'' Al₂O₃ telah dibuat, walaupun belum sempurna. Hal ini perlu proses pembakaran bahan pada suhu tinggi (diatas 1600°C) dengan waktu yang cukup lama (sekitar 4-5 jam). Dari data difraksi sinar-X, ukuran butir yang terbentuk setelah dipanaskan 1000°C selama 2 jam adalah 1,956 Å, sedang setelah dipanaskan pada suhu 1600°C adalah sebesar 391,304 Å.
3. Model sistem sel ionik Na/ β'' Al₂O₃/S sudah dicoba dibuat, tapi masih perlu perbaikan pada rancangan model, elektrolit tabung β'' Al₂O₃. Besar tegangan OCV yang dapat diukur sebesar 1,5 V dengan besar arus 12 mA, selama 1 jam.

DAFTAR ACUAN

- [1]. SADAЕ YAMAGUCHI, *Proton Conducting Oxides and Its Application to Electrolyte of Fuel Cells*, Chiba Institute of Tech., Japan, (2001).
- [2]. KEPCO KANSAI ELECTRIC POWER CO., INC., *Research on NaS (Sodium-Sulfur) Battery Operation at Customer Site*, Osaka, Japan.
- [3]. SAFEI PURNAMA, ANTHONIUS SITOMPUL, TUMPAL PANDIANGAN, dan YUSTINUS P., "Pembuatan Bahan Elektrolit Padat β -Alumina", *Prosiding Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan '99*, Serpong(1999), 275-278.
- [4]. ZU-XIANG LIN, *Study on Beta-Alumina Solid Electrolyte and Beta Battery in SIC*, Shanghai Institute of Ceramics, China, (1990).
- [5]. SAFEI PURNAMA, AZISK. JAHYA, dan NURDIN EFFENDI, *Jurnal Konduktor Padat*, 3(2), (2002).