

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI SENYAWA OKSIDA LOGAM
BERSTRUKTUR AURIVILLIUS SERI HOMOLOG $Pb_{(n-2)}Bi_3Ti_{(n-0,5)}W_{0,5}O_{(3n+3)}$
($n = 2, 3, 4, 5, 6$)**

**THE SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION of AURIVILLIUS OXIDES
HOMOLOG SERIES TYPE $Pb_{(n-2)}Bi_3Ti_{(n-0,5)}W_{0,5}O_{(3n+3)}$ $n = 2, 3, 4, 5$ dan 6**

Edi Mikrianto^{*)}, Taufiqur Rohman

Program Studi Kimia, Fakultas MIPA Universitas Lambung Mangkurat

Jalan Jenderal Ahmad Yani Km 36 Banjarbaru

^{*)}Corresponding author: mikrianto@yahoo.co.uk

ABSTRAK

Senyawa oksida Aurivillius seri homolog tipe $Pb_{(n-2)}Bi_3Ti_{(n-0,5)}W_{0,5}O_{(3n+3)}$ dengan jumlah $n = 2, 3, 4, 5$ dan 6 telah disintesis dengan metode reaksi kimia padat pada suhu sintesis optimum $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $950\text{ }^{\circ}\text{C}$. Struktur kristal dikarakterisasi menggunakan metoda difraksi sinar-X (XRD) powder. Untuk menganalisa produk yang terbentuk digunakan program Phasax dengan database PDF (*Powder Diffraction File*) dan refinemen *Rietveld Le Baile analysis*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa oksida aurivillius bergeometri ortorombik dengan jumlah n lapis oktahedral genap mempunyai group ruang $A2_1am$ sedangkan untuk n oktahedral ganjil mempunyai group ruang B_2Cb . Parameter sel a dan b berkisar $\approx 5\text{ \AA}$, sedangkan parameter sel c bertambah besar seiring dengan kenaikan jumlah n oktahedral.

Kata Kunci : Aurivillius, difraksi sinar-X, reaksi kimia padat.

ABSTRACT

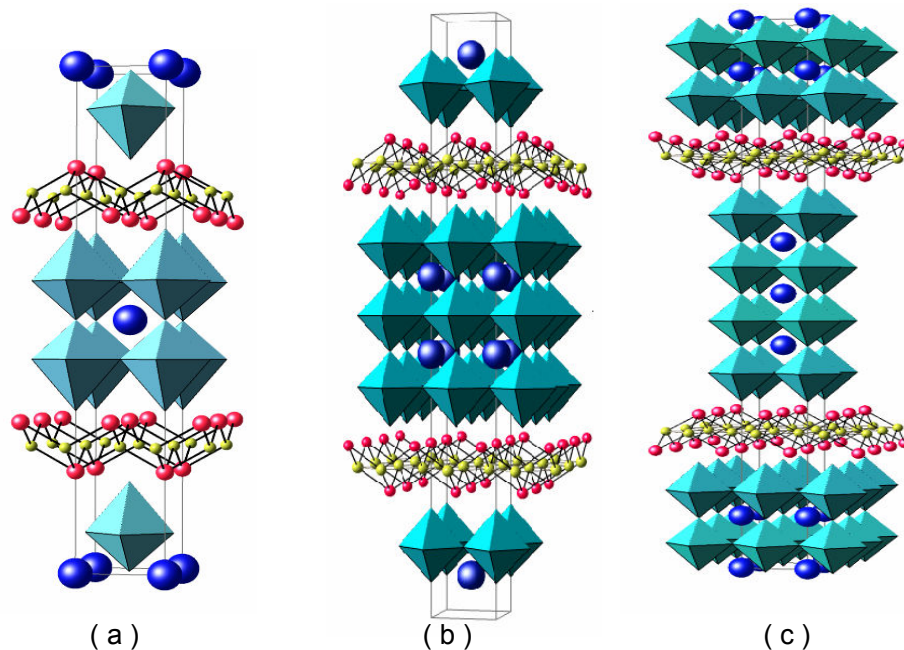
Aurivillius oxides homolog series type $Pb_{(n-2)}Bi_3Ti_{(n-0,5)}W_{0,5}O_{(3n+3)}$ $n = 2, 3, 4, 5$ dan 6 have been synthesized using the solid state reaction, with optimum reaction of $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $950\text{ }^{\circ}\text{C}$. The crystal structures were determined using powder X-ray diffraction data and investigation of structure with phasax and PDF database and refinement Rietveld Le Baile Analysis. The results show that the aurivillius oxides have orthorhombic geometry, adopt space group of $A2_1am$ for n even and B_2Cb for odd, a and $b \approx 5\text{ \AA}$, while c become large as n octahedral increased.

Keyword : Aurivillius, X-ray diffraction, solid state reaction

PENDAHULUAN

Oksida logam Aurivillius merupakan suatu senyawa oksida terdiri dari struktur berlapis tumbuh secara teratur yang terbentuk dari $[A_{n-1}B_nO_{3n+1}]^{2-}$ disebut dengan lapisan perovskit dan lapisan $[Bi_2O_2]^{2+}$. Kation A merupakan ion-ion yang bermuatan +1, +2 atau +3 yang mempunyai koordinasi dodekahedral (Aurivillius, 50). Kation A yang berukuran besar ini diantaranya adalah beberapa logam alkali, alkali tanah, unsur tanah jarang atau campurannya. Sedangkan kation B merupakan suatu unsur transisi dengan koordinasi oktahedral yang

berukuran lebih kecil dari kation A dan n merupakan bilangan bulat ($1 \leq n \leq 8$) yang menunjukkan jumlah oktahedral pada lapisan perovskit (Borg et.al, 2002). Oksida Aurivillius mempunyai beberapa sifat fisik yang karakteristik salah satunya adalah sifat feroelektrik (Ismunandar, dkk 1998). Ke depannya aurivillius dalam aplikasinya bersifat feroelektrik ini digunakan sebagai bahan memori komputer yang bersifat *nonvolatile* yaitu FRAM (*Ferroelectric Random acces Memories*) (Ismunandar, dkk 1999).



Gambar 1 Struktur oksida Aurivillius untuk jumlah n oktahedral (a) $n = 2$, (b) $n = 3$ dan (c) $n = 4$ (Akira, dkk 2000)

Sintesis oksida aurivillius seri homolog $Pb_{(n-2)}Bi_3Ti_{(n-0,5)}W_{0,5}O_{(3n+3)}$ dengan jumlah n lapis oktahedral 2, 3, 4, 5 dan 6. Kation yang menempati posisi

dodekahedral dipilih kation Pb sementara kation Ti yang menempati posisi oktahedral yang tersubsitusi 0,5 dipilih kation W. Kation-kation Pb dan W

merupakan kation berukuran besar serta mempunyai kandungan jumlah elektron yang banyak sehingga akan memberikan densitas muatan yang lebih besar (mikrianto, dkk 2007). Hal ini memberikan harapan bahwa keberadaannya akan membawa akibat nilai polarisasi remanen, nilai Kapasitansi (nF), serta nilai Koefisien Dielektrik (Kef) dari sifat feroelektrik senyawa oksida aurivillius hasil sintesis akan lebih besar dibandingkan dengan kation alkali maupun alkali tanah dalam jumlah lapis n oktahedral yang sama. Demikian juga dengan bertambahnya jumlah lapis n oktahedral akan memberikan nilai kapasitansi, koefisien dielektrik akan bertambah besar seiring dengan kenaikan jumlah n oktahedral lapis perovskit. Sehingga upaya untuk mendapatkan sifat karakteristik material aurivillius dapat tercapai.

Studi tentang struktur dan sifat feroelektrik pada oksida Aurivillius dua dan tiga lapis telah banyak dilakukan penelitian sebelumnya (Mikrianto, dkk 2007). Pada penelitian dilakukan sintesis oksida Aurivillius tipe $Pb_{(n-2)}Bi_3Ti_{(n-0,5)}W_{0,5}O_{(3n+3)}$ dengan jumlah n lapis oktahedral 2, 3, 4, 5 dan 6 dengan menggunakan metode reaksi kimia padat pada tekanan atmosfer. Terhadap oksida-oksida Aurivillius yang dihasilkan, dilakukan karakterisasi dengan menggunakan metoda difraksi sinar-X (XRD). Untuk menganalisa produk yang

terbentuk digunakan program Phasax dengan database PDF (*Powder Diffraction File*) dan metoda pengindeksan dengan program *Rietica* untuk menentukan parameter sel satuan dan indeks Miller.

BAHAN DAN METODE

Oksida Aurivillius seri homolog yang akan disintesis adalah oksida logam Aurivillius seri homolog tipe $Pb_{(n-2)}Bi_3Ti_{(n-0,5)}W_{0,5}O_{(3n+3)}$ ($n = 2, 3, 4, 5$ dan 6) dengan menggunakan metode reaksi kimia padat pada tekanan atmosfer. Oksida Aurivillius tersebut dibuat dengan mereaksikan oksida-oksida penyusunnya sesuai dengan stoikiometri yang diinginkan. Oksida-oksida penyusun dari oksida Aurivillius yang akan disintesis adalah Bi_2O_3 (99,98% Aldrich), TiO_2 (99,99% Aldrich), WO_3 (99,97% Aldrich), PbO (99,98% Aldrich). Setiap campuran yang dibuat dihomogenkan dengan penggerusan dan dengan bantuan pembasah pelarut organik aseton yang mudah menguap.

Campuran pereaksi dipanaskan pada suhu di bawah titik leleh pereaksi yang memiliki titik leleh terendah ($\sim 100^\circ C$ di bawah titik leleh reaktan dengan titik leleh terendah) selama 24 jam. Sampel kemudian digerus ulang dan dipanaskan ulang dengan suhu $100^\circ C$ lebih tinggi dari pemanasan sebelumnya selama 24 jam. Perlakuan ini diteruskan

sampai diperkirakan reaksi telah berlangsung sempurna, yaitu jika sudah ada perubahan yang menandakan terjadinya suatu reaksi. Tanda-tanda itu antara lain berubahnya warna sampel dan tekstur (mengeras dan kasar) dari sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Senyawa oksida Aurivillius seri homolog tipe $\text{Pb}_{(n-2)}\text{Bi}_3\text{Ti}_{(n-0,5)}\text{W}_{0,5}\text{O}_{(3n+3)}$ untuk $n = 2, 3, 4, 5$, dan 6 berhasil disintesis dengan teknik reaksi kimia padat. Kelima senyawa itu adalah $\text{Bi}_3\text{Ti}_{1,5}\text{W}_{0,5}\text{O}_9$ (BTW-2), $\text{PbBi}_3\text{Ti}_{2,5}\text{W}_{0,5}\text{O}_{12}$ (PBTW-3), $\text{Pb}_2\text{Bi}_3\text{Ti}_{3,5}\text{W}_{0,5}\text{O}_{15}$ (PBTW-4), $\text{Pb}_3\text{Bi}_3\text{Ti}_{4,5}\text{W}_{0,5}\text{O}_{18}$ (PBTW-5) dan $\text{Pb}_4\text{Bi}_3\text{Ti}_{5,5}\text{W}_{0,5}\text{O}_{21}$ (PBTW-5). Teknik sintesis ini relatif sangat mudah dan sederhana hanya dilakukan pencampuran secara stokiometris dari bahan-bahan yang direaksikan dan kemudian dilakukan pemanasan bertahap. Teknik ini dilakukan sebagai langkah awal sintesis dan eksplorasi senyawa oksida Aurivillius seri homolog serta mempelajari perubahan struktur oksida aurivillius sebagai akibat bertambahnya jumlah lapis n pada lapisan oktahedral perosvit.

Mulanya bahan-bahan oksida dicampurkan setelah sebelumnya ditimbang sesuai perhitungan stoikiometri. Penimbangan ini dilakukan untuk memperoleh massa yang akurat dengan *density* bahan dan volume

bahan yang diinginkan. Selama proses sintesis berlangsung terjadi perubahan-perubahan fisik yang cukup signifikan yang diamati dari awal bahan-bahan dicampurkan, digerus dan dipanaskan. Perubahan fisik yang diamati adalah warna dan tekstur.

Adanya perubahan-perubahan tekstur dan warna mengindikasikan bahwa dalam reaksi fasa padatnya berlangsung reaksi difusi. Hal ini disebabkan dalam sintesisnya terjadi gerakan panas (*termal*) atom molekul secara acak. Ketika proses pemanasan berlangsung terjadi gerakan panas (*termal*) yang berbeda setiap kenaikan suhu yang mengakibatkan perubahan terhadap hasil sintesis. Terjadinya perubahan tekstur meliputi ukuran dan bentuk butiran dikarenakan adanya transpor material antara serbuk sehingga terjadi interaksi yang kuat disertai dengan pengurangan volume porositasnya. Hal ini dapat ditunjukkan dengan terjadinya perubahan bentuk disertai dengan perubahan ukuran.

Perubahan-perubahan warna yang terjadi bertahap dari suhu rendah ke suhu lebih tinggi dapat disebabkan oleh ukuran butiran dari bahan padatan yang berupa serbuk. Hal ini didasarkan bahwa semakin bahan padatan ini terbagi menjadi bagian-bagian kecil, maka semakin cepat reaksi berlangsung terutama terhadap perubahan warnanya. Sedangkan, yang mengakibatkan visual

warna terlihat berbeda-beda (berubah) adalah pengaruh komposisi kimia, struktur kristal dan ikatan atom yang terjadi didalamnya. Komposisi kimia yang dimaksudkan disini adalah warna dari bahan-bahan penyusun oksidanya. Kalau dilihat dari struktur kristal, senyawa oksida Aurivillius merupakan senyawa yang dapat membentuk lebih dari satu susunan atom. Tiap-tiap

susunan mempunyai sifat fisik dan struktur kristal yang berbeda sehingga kemungkinan mempengaruhi perubahan warna cukup besar.

Data pengamatan hasil sintesis senyawa oksida Aurivillius target Aurivillius seri homolog tipe $Pb_{(n-2)}Bi_3Ti_{(n-0,5)}W_{0,5}O_{(3n+3)}$ untuk $n = 2, 3, 4, 5$, dan 6 disajikan pada tabel 1.

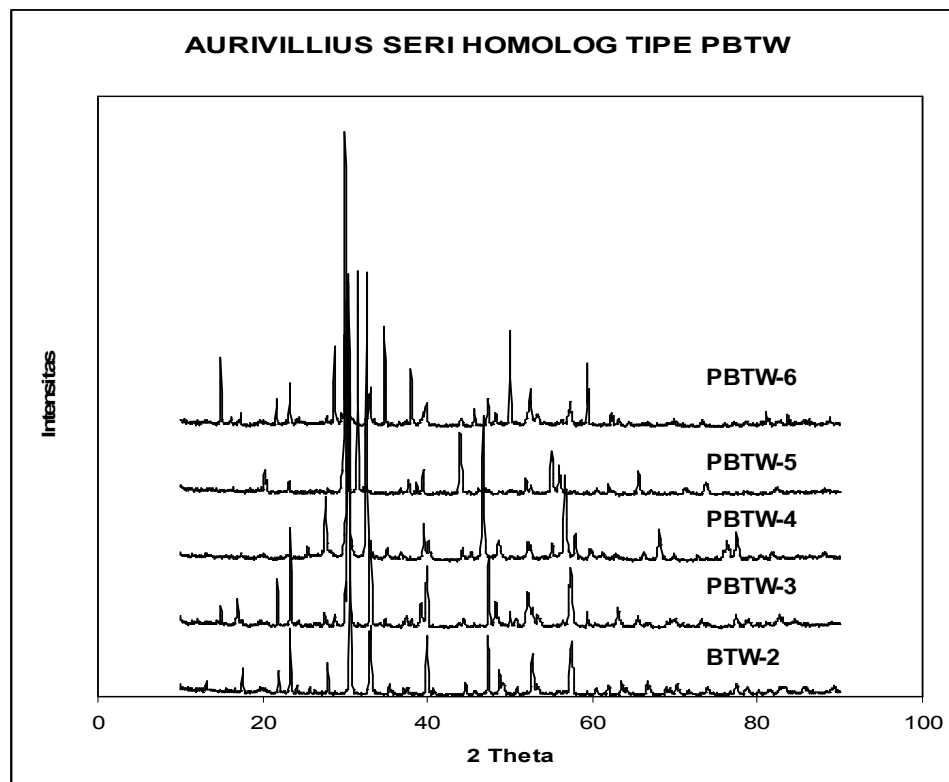
Tabel 1 Data pengamatan hasil sintesis Aurivillius Seri Homolog Tipe $Pb_{(n-2)}Bi_3Ti_{(n-0,5)}W_{0,5}O_{(3n+3)}$ untuk $n = 2, 3, 4, 5$, dan 6

Suhu (°C) / waktu (jam)	PENAMPAKAN				
	BTW-2	PBTW-3	PBTW-4	PBTW-5	PBTW-6
32/0	putih ⁽¹⁾ kekuningan	putih ⁽¹⁾ kekuningan	Putih ⁽¹⁾ kekuningan	putih ⁽¹⁾ kekuningan	putih ⁽¹⁾ kekuningan
400/24	putih ⁽¹⁾ kekuningan	putih ⁽¹⁾ kekuningan	Putih ⁽¹⁾ kekuningan	putih ⁽¹⁾ kekuningan	putih ⁽¹⁾ kekuningan
500/24	putih ⁽¹⁾ kekuningan	putih ⁽¹⁾ kekuningan	Putih ⁽¹⁾ kekuningan	putih ⁽¹⁾ kekuningan	putih ⁽¹⁾ kekuningan
600/24	putih ⁽¹⁾ kekuningan	putih ⁽¹⁾ kekuningan	Putih ⁽¹⁾ kekuningan	putih ⁽¹⁾ kekuningan	putih ⁽¹⁾ kekuningan
700/24	putih ⁽¹⁾ kekuningan	putih ⁽¹⁾ kekuningan	Putih ⁽¹⁾ kekuningan	putih ⁽¹⁾ kekuningan	putih ⁽¹⁾ kekuningan
800/24	putih ⁽¹⁾ kuning tua	putih ⁽¹⁾ kekuningan	Putih ⁽¹⁾ kuning tua	putih ⁽¹⁾ kekuningan	putih ⁽¹⁾ kuning tua
850/24	putih ⁽²⁾ kekuningan	putih ⁽²⁾ kekuningan	Putih ⁽²⁾ kekuningan	putih ⁽²⁾ kekuningan	putih ⁽²⁾ kemerahan
900/24	putih ⁽³⁾ kekuningan	putih ⁽³⁾ kekuningan	Putih ⁽³⁾ kekuningan	putih ⁽³⁾ kekuningan	putih ⁽³⁾ kemerahan
950/24	Putih ⁽³⁾ agak kuning	Putih ⁽³⁾ agak kuning	putih sdk ⁽³⁾ kekuningan	putih sdk. ⁽³⁾ kekuningan	putih sdk. ⁽³⁾ kemerahan

Keterangan tekstur : lembut (1); agak kasar (2); kasar (3).

Senyawa aurivillius dapat disintesis dengan melakukan variasi jumlah n oktahedral pada lapisan perovskit yang menghasilkan pola struktur yang sama namun struktur pembangun lapisan perovskit mempunyai ketebalan yang berbeda membawa konsekuensi panjang parameter c dari satuan sel akan menjadi lebih besar seiring bertambahnya jumlah n oktahedralnya. Pola-pola difraktogram yang ditunjukkan pada gambar 2 adalah pola difraktogram yang dihasilkan dari aurivillius hasil sintesis dipadukan satu dengan yang lain dalam satu seri homolog aurivillius.

Nampak pada gambar tersebut bahwa pola difraktogram aurivillius hasil sintesis mempunyai kemiripan pola difraktogram aurivillius pada umumnya. Namun beberapa puncak-puncak pola difraktogram yang dihasilkan dalam satu seri homolog sebagian mengalami pergeseran sudut 2θ , hal ini suatu kewajaran karena untuk setiap struktur aurivillius hasil sintesis tidak akan pernah dijumpai difraktogram yang sama identik. Puncak-puncak merupakan difraksi kristal membentuk bidang-bidang kristal dari hasil penembakan sinar-x



Gambar 2 Pola-pola difraktogram Aurivillius Seri Homolog Tipe $(\text{Pb}_{(n-2)}\text{Bi}_3\text{Ti}_{(n-0,5)}\text{W}_{0,5}\text{O}_{(3n+3)})$ untuk $n = 2, 3, 4, 5$, dan 6.

Pada tabel 2 parameter sel a dan b pada aurivillius hasil sintesa mengalami perubahan harga untuk setiap seri homolognya, hal ini diyakini bahwa perubahan-perubahan nilai tersebut terjadi karena perubahan struktur akibat komposisi senyawa yang berbeda. Komposisi senyawa ini memberi dampak pada posisi-posisi atom penyusun struktur aurivillius terutama pada lapisan perovskit di setiap kenaikan jumlah lapis oktahedral. Demikian juga volume aurivillius pada lapisan perovskit juga akan bertambah besar karena terjadi penambahan jumlah atom-atom penyusunnya seiring dengan bertambahnya jumlah lapis oktahedral. Atom-atom yang terjejal dalam struktur oksida padatan serta mobilisasi atom saat pembakaran lalu terjadi pendinginan akan mengubah susunan atom termampat dalam senyawa oksida. Perubahan nilai tersebut relatif kecil dan masih berada di atas $\approx 5 \text{ \AA}$ dengan meningkatnya jumlah lapisan perovskit.

Pola difraksi senyawa oksida aurivillius hasil sintesis semuanya menunjukkan bersimetri *ortorombik* dengan parameter sel dan group ruang pada tabel 2 yang dihasilkan melalui pengolahan data Rietveld dengan program Rietica dengan analisis Le Bail. Pola difraksi senyawa oksida aurivillius hasil sintesis bersimetri *ortorombik* dengan group ruang $A21am$ untuk jumlah n oktahedral genap dan

sedangkan untuk n oktahedral ganjil group ruang $B2cb$. Pengolahan data dengan metoda Rietveld, intensitas dari berbagai macam pemantulan dihitung dengan menggunakan suatu struktur model yang telah diketahui parameter-parameternya. Pembentukan pola difraksi serbuk dilakukan dengan penggabungan antara intensitas yang dihasilkan dengan faktor-faktor pengontrol seperti panjang gelombang radiasi dan parameter kisi. Hal ini dimaksudkan agar dapat menghitung pola difraksi serbuk berdasarkan pada struktur model. Prinsip dari metoda Rietveld ini yaitu penyesuaian antara pola difraksi serbuk hasil eksperimen dengan pola difraksi struktur model. Dalam metoda Rietveld ini dilakukan pergeseran nilai-nilai parameter struktur model sehingga dihasilkan kemiripan yang maksimal dengan pola difraksi serbuk hasil eksperimen dan model. Nilai-nilai parameter struktur hasil pergeseran akan menjadi nilai parameter struktur dari pola difraksi serbuk hasil eksperimen. Dalam metode ini, beberapa indeks digunakan untuk menyatakan kesesuaian antara hasil perhitungan dengan metode Rietveld dengan hasil pengamatan melalui data difraksi sinar-X serbuk.

Tabel 2. Hasil pengolahan data Rietveld dengan program Rietica Seri Homolog oksida aurivillius Tipe $\text{Pb}_{(n-2)}\text{Bi}_3\text{Ti}_{(n-0,5)}\text{W}_{0,5}\text{O}_{(3n+3)}$ untuk $n = 2, 3, 4, 5$ dan 6 .

Tipe Aurivillius	Group Ruang	Parameter Sel			Volume ($\text{\AA}^3$)
		a ($\text{\AA}$)	b ($\text{\AA}$)	c ($\text{\AA}$)	
$\text{Bi}_3\text{Ti}_{1,5}\text{W}_{0,5}\text{O}_9$	$A2_1am$	5,3234 (1)	5,4535 (6)	25,1906 (7)	731,31238
$\text{PbBi}_3\text{Ti}_{2,5}\text{W}_{0,5}\text{O}_{12}$	$B2Cb$	5.4567 (1)	5.6543 (5)	36.9674 (1)	1140,58546
$\text{Pb}_2\text{Bi}_3\text{Ti}_{3,5}\text{W}_{0,5}\text{O}_{15}$	$A2_1am$	5,2453 (6)	5,5363 (5)	41,6342 (3)	1209,03861
$\text{Pb}_3\text{Bi}_3\text{Ti}_{4,5}\text{W}_{0,5}\text{O}_{18}$	$B2Cb$	5.3524 (9)	5.6478 (5)	48.567 (1)	1468,14567
$\text{Pb}_4\text{Bi}_3\text{Ti}_{5,5}\text{W}_{0,5}\text{O}_{21}$	$A2_1am$	5,3436 (1)	5,42566 (6)	58,4563 (4)	1694,77885

Pola-pola difraktogram serta hasil pengolahan data Rietveld menunjukkan bahwa untuk setiap penambahan jumlah n oktahedral dalam lapisan perovskit dalam satu seri homolog aurivillius menghasilkan struktur kristal yang berbeda. Oleh karenanya penelitian ini sekaligus menjawab hipotesis yang diajukan bahwa dengan penambahan jumlah n oktahedral dalam lapisan perovskit dalam satu seri homolog aurivillius tipe $\text{Pb}_{(n-2)}\text{Bi}_3\text{Ti}_{(n-0,5)}\text{W}_{0,5}\text{O}_{(3n+3)}$ untuk $n = 2, 3, 4, 5$ dan 6 dihasilkan struktur kristal yang berbeda. Dan selanjutnya bahwa peningkatan jumlah n oktahedral dalam satu seri homolog ini diyakini akan memberikan sifat karakteristik feroelektrik yang beragam dan merupakan fenomena menarik untuk dipelajari bagaimana perubahan kenaikan jumlah n oktahedral dalam satu seri homolog aurivillius terhadap sifat karakteristik feroelektrik terutama dalam aplikasinya sebagai bahan kapasitor.

KESIMPULAN

Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa :

1. Senyawa oksida aurivillius seri homolog tipe $((\text{Pb}_{(n-2)}\text{Bi}_3\text{Ti}_{(n-0,5)}\text{W}_{0,5}\text{O}_{(3n+3)})$ untuk $n = 2, 3, 4, 5$, dan 6 . telah berhasil disintesis dengan reaksi fasa padat pada suhu akhir optimum bervariasi yaitu berkisar pada suhu 850°C , 900°C dan 950°C yang ditunjukkan oleh pola difraktogram yang tajam dan luas area yang kecil.
2. Pola difraksi senyawa oksida aurivillius hasil sintesis bersimetri ortorombik dengan group ruang $A2_1am$ untuk jumlah n oktahedral genap dan sedangkan untuk n oktahedral ganjil group ruang $B2cb$.
3. Peningkatan jumlah n oktahedral dalam lapisan perovskit dalam satu seri homolog terbukti terjadi perubahan struktur sekaligus menjawab hipotesis yang diajukan penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- Akira Onodera, Takayuli Kubo, Keiji Yoshio, Seiji Kojima, Toshihiko Takama., *Crystal Structure of High-Temperatur Paraelectric Phase in Bi-layered Perovskite $Sr_{0,85}Bi_{2,1}Ta_2O_9$* . **Journal Japan J Applied Physics**. Vol 39, 5711-5715 (2000)
- Aurivillius Bengt, *Mixed oxides with Layer Lattices .III Structure of $BaBi_4Ti_4O_{15}$* , **Arkiv For Kemi Band 2 No 37**, 519-527 (1950)
- Borg, S., Goran Svensson and Jan-Olov Bovin., *Structure Study of $Bi_{2,5}Na_{0,5}Ta_2O_9$ and $Bi_{2,5}Na_{m-1,5}Nb_mO_{3m+3}$ ($m=2-4$) by Neutron Powder Diffraction and Electron Microscopy*, **Journal of Solid State Chemistry** 167, 86-96 (2002).
- Ismunandar, Brett A. Hunter and Brendan J. Kennedy, *Cation Disorder in the Ferroelectric Aurivillius Phase $PbBi_2Nb_2O_9$: An Anamolous Dispersion X-ray Diffraction Study*. **Journal of Solid State Chemistry**, 121, 3281-3289 (1998)
- Ismunandar & Brendan J. Kennedy, *Effect of Temperature On Cation Disolder In Abi_2NbO_9 ($A=Sr, Ba$)*. **Journal Material Chemistry**, 9, 541 (1999)
- Ismunandar dan Mikrianto, *Structure Rifenement of Five Layers Coumpound $Ba_4Bi_2Nb_2Ti_3O_{18}$* , **Proceedings ITB on Engineering Science**, Vol. 36 B No. 1 hal 57 - 62, (2004).
- Mikrianto dan Ismunandar., *Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Berstruktur Aurivillius Empat dan Lima Lapis dan Penentuan Sifat Feroelektriknya*, **Jurnal Matematika dan Sains** Vol 9 No.3, hal 279 – 284, September 2004
- Mikrianto dan Ismunandar., *Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Berstruktur Aurivillius Empat Lapis*, **Prosiding Seminar Nasional Kimia HKI** (hal 381-386) Malang, Jawa Timur (2003).
- Mikrianto, Ismunandar, Khairurizal, *Synthesis and characterization metal oxide aurivillius homolog series type $(Bi_2O_2)^{2+}(A_{(n-1)}B_nO_{3n+3})^{2-}$ ($A^{2+} = Ba, Sr$)*, **The International Conference on Neutron and X-Ray Scattering (ICNX2007)**, Bandung Jawa Barat (2007).