# PERBANDINGAN OKSIDA PIROKLOR $Fe_2Ti_2O_7$ HASIL SINTESIS METODE HIDROTERMAL DAN METODE SOLID STATE REACTION DARI PREKURSOR HASIL EKSTRAKSI TAMBANG BESI HEMATIT PEMALONGAN KALIMANTAN SELATAN.

Edi Mikrianto[a], Rodiansono[b] , Urito Trisno Santoso[c] , Abdullah[d]

[abcd]Program Studi Kimia FMIPA Universitas Lambung Mangkurat

*Email korespondensi: edimikrianto@ulm.ac.id*

## ABSTRAK

*Penelitian ini bertujuan membandingkan senyawa oksida logam piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ hasil sintesis menggunakan metode hidrotermal dan metode solid state reaction. Prekursor besi diperoleh dari hasil ekstraksi besi Hematit dari desa Pemalongan Kalimantan Selatan. Hasil sintesis senyawa oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ metode hidrotermal diperoleh fasa tunggal pada waktu sintesis 72 jam dengan suhu 200 $^oC$ dan konsentrasi NaOH 3M. Sementara itu oksida piroklor fasa tunggal hasil sintesis solid state reaction diperoleh pada suhu akhir sintesis 1050 $^oC$. Penentuan struktur dianalisis dengan program Rietica didapatkan bahwa oksida piroklor yang dihasilkan mempunyai grup ruang sama yaitu Fd3m dengan sistem kristal heksagonal. Parameter selnya masing-masing adalah a = 4,45665 Å, b = 4,467895 Å, c = 5,788860 Å untuk metode hidrotermal dan a = 4,368727 Å, b = 4,368727 Å, c = 5,657380 Å untuk metode solid state reaction. Sifat feroelektrik masing-masing nilai polarisasi remanen Pr (+) dan Pr (-) sebesar 34,9 $C/cm^2$ dan 23,9 $C/cm^2$ dan Pr (+) dan Pr (-) sebesar 28,9 $C/cm^2$ dan 18,6 $C/cm^2$ untuk metode solid state reaction.*

***Kata kunci***: Oksida logam piroklor, hidrotermal, Solid state Reaction, hematit.

## PENDAHULUAN

Sifat feroelektrik senyawa piroklor sangat potensial dalam aplikasinya terutama bagi industri elektronika yang berkembang sangat cepat. Hal ini didukung oleh komponen-komponen penyusun perangkat elektronik tersebut. Banyak komponen yang berfungsi sangat penting sebagai penentu operasional pada perangkat elektronika seperti salah satunya adalah kapasitor. Kapasitor dapat dibuat dari material yang bersifat feroelektrik yang mempunyai kemampuan menahan polarisasi elektrik setelah tegangan listrik dihilangkan. Kapasitor ini juga dapat dirangkai dengan suatu transistor membentuk komponen FRAM (*Ferroelectric Random Access Memory*) yang digunakan sebagai memori komputer (Mikrianto dkk., 2011).

Melihat dari manfaat yang dapat diberikan dari senyawa yang berstruktur piroklor, maka perlu dilakukan sintesis oksida piroklor sebagai usaha eksplorasi terhadap oksida tersebut. Sintesis oksida piroklor telah pernah dilakukan sebelumnya. Oksida piroklor yang

digunakan yakni $Fe_2Ti_2O_7$, senyawa tersebut disintesis dengan menggunakan metode sintesis reaksi fasa padat. Pengukuran polarisasi pada senyawa tersebut menunjukkan nilai polarisasi jenuh atau Ps (Polarisasi saturasi) yaitu (+) sebesar 71,8 C $cm^{-2}$ dan (-) sebesar 56,6 C $cm^{-2}$ sedangkan nilai Pr (Polarisasi remanen) yang dihasilkan yaitu Pr (+) sebesar 28,9 C $cm^{-2}$ dan Pr (-) sebesar 18,6 C $cm^{-2}$ (Misna, 2010).

Metode hidrotermal sebelumnya pernah digunakan untuk mensintesis senyawa feroelektrik yang lain yakni senyawa aurivillius tipe $Bi_4Ti_3O_{12}$. Berdasarkan hasil sintesis diketahui bahwa senyawa tersebut menghasilkan fasa tunggal yang dilakukan dengan NaOH 3 M selama 72 jam (Rizal, 2007). Pengujian dengan metode yang sama namun dengan menggunakan senyawa berbeda ini dilakukan untuk mengetahui kualitas kristal dan nilai feroelektrik yang dimiliki senyawa piroklor $Fe_2Ti_2O_7$. Pemilihan senyawa piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ sebagai sampel dikarenakan senyawa ini yang tersusun dari Fe sebagai logam A dan Ti sebagai logam B keduanya memiliki jari-jari yang besar. Jari-jari Fe sebesar 1,46 Å dan Ti sebesar 0,69 Å. Umunnya ukuran jari-jari dari logam A dan B yang digunakan berpengaruh terhadap kristalinitas yang dihasilkan, makin besar jari-jari logamnya makin baik pula kristal yang dihasilkan. Sementara kualitas dari kristalinitas tersebut secara teoritis berbanding lurus dengan nilai feroelektrik yang dihasilkan. Sehingga dengan digunakannya senyawa ini diharapkan akan menghasilkan kualitas kristal yang baik dan nilai feroelektrik yang tinggi pula.

Karakterisasi senyawa hasil sintesis senyawa piroklor dilakukan dengan menggunakan metode difraksi sinar-X (XRD) untuk menentukan indeks Miller, parameter sel, grup ruang dan bentuk geometrinya. Setelah itu hasil analisis yang berupa difraktogram tersebut dibandingkan dengan data *Powder Diffraction File* (PDF). Sedangkan penentuan struktur dilakukan dengan menggunakan metode Rietveld dengan analisis Le Baile. Penentuan indeks Miller dan parameter sel struktur dengan menggunakan program *Rietica*. Penentuan sifat feroelektrik dilakukan dengan metode keramik menggunakaan instrumen RT66A *Ferroelectric System Radiant Technology*.

## METODE PENELITIAN

Sintesis senyawa oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ dilakukan di Laboratorium Dasar Universitas lambung Mangkurat Banjarbaru Kalimantan Selatan. Karakterisasi senyawa dilakukan di Laboratorium Departemen Pertambangan ITB, Bandung sedangkan penentuan sifat feroelektriknya dilakukan di Program Studi Fisika, ITB, Bandung.

### *Alat dan Bahan*

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah neraca analitik ADAM PW 254, difraktometer sinar-X serbuk Philips PW 1710, mortar, alu, autoklaf, oven Memmert, instrumen tipe RT66A *Ferroelectric System Radiant Technology*, sudip, kaca arloji, pipet tetes, *beaker glass* Pyrex,

labu ukur Pyrex, gelas ukur Pyrex, pengukur waktu, kaca aluminium evaporator, solder, kawat penghubung elektroda, komputer, *software* program *Phasanx* dan program *Rietica*. Sedangkan bahan-bahan yang digunakna dalam penelitian ini adalah Bahan-bahan prekursor yang digunakan dalam penelitian ini adalah $Fe_2O_3$ hasil ekstraksi besi hematit dari desa Pemalongan kcamatan Bajuin Pulau Laut Kalimantan Selatan., $TiO_2$ (Aldrich, 99,00%), aseton, larutan NaOH, pasta perak dan air bebas mineral (*aqua dm*).

***Metode Penelitian 1 (Sintesis dengan metode hidrotermal)***

Sebanyak 1,3788 gram $Fe_2O_3$ hasil ektraksi$_3$ dan 0,9287 gram $TiO_2$ ditimbang kemudian digerus. Selanjutnya sambil digerus ditambahkan aseton hingga campuran homogen, lalu ditambah larutan NaOH 3 M sebanyak 25 mL. Campuran dimasukkan ke dalam autoklaf. Autoklaf tersebut kemudian dipanaskan dalam oven selama variasi kondisi waktu 48 jam dan 72 jam dengan suhu pemanasan 200$^o$C sehingga terbentuk tekanan *autogenous* dalam autoklaf. Serbuk yang diperoleh dicuci dengan air bebas mineral untuk menghilangkan ion $Na^+$ dan dikeringkan pada suhu ruang (Rizal, 2007).

***Metode Penelitian 2. (Karakterisasi oksida piroklor)***

Oksida logam piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan difraktometer sinar-X dari sumber sinar logam Cu-$K_\alpha$ dengan filter Ni. Proses difraksi dilakukan pada rentang sudut 2θ antara 10° sampai 80° dengan interval kenaikan sudut sebesar 0,05° per tahap. Pola difraksi yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan *database* PDF (ICDD) yang ditelusuri dengan program *Phasanx*.

***Metode Penelitian 3. (Karakterisasi Feroelektrik )***

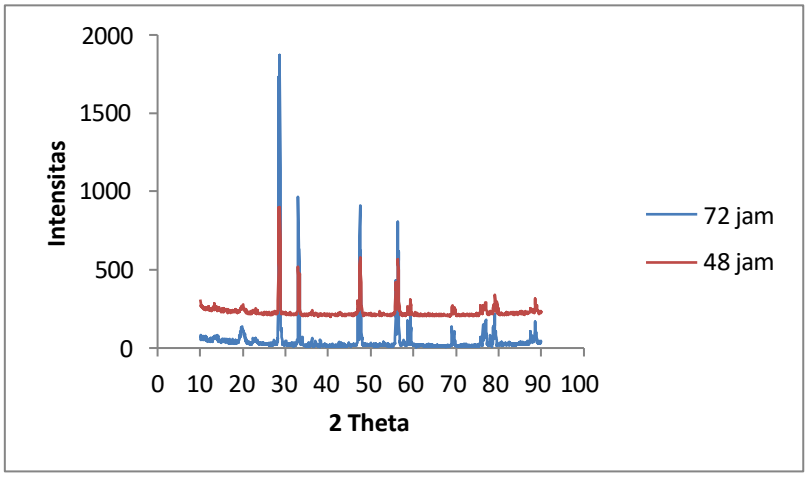
Sebanyak 1 gram senyawa oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ hasil sintesis dilakukan pengepresan untuk membentuk pelet dengan luas penampang 1,54 cm$^2$ dan ketebalan sekitar ± 1 mm (1000 μm). Pelet yang terbentuk dipanaskan pada temperatur 700

## HASIL DAN PEMBAHASAN

***Karakterisasi Oksida Piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ Difraksi Sinar-X***

Sampel oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ yang dianalisis dengan difraksi sinar-X adalah sampel pada variasi waktu 48 jam dan 72 jam. Radiasi sinar-X yang digunakan berasal dari tabung target Cu-Kα dengan panjang gelombang 1,54056 Å. Hasil difraksi ditelusuri strukturnya menggunakan program *Phasanx* dengan cara membandingkan senyawa target hasil sintesis dengan data standar yang terdapat dalam *database* PDF (*Powder Diffraction File*). Berdasarkan hasil identifikasi diketahui bahwa senyawa yang terbentuk merupakan senyawa piroklor yang memiliki kemiripan difaktogram dengan difaktogram $(CaNa)_2(NbTi)_2O_6F$ data *base* (*File no. Card* 17-0747).

Hasil karakterisasi oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ dengan difraksi sinar-X untuk variasi waktu 48 jam dan 72 jam dapat dilihat pada gambar 1 di bawah. Dari gambar tersebut, terlihat bahwa hasil sintesis memiliki struktur kristal dan bukan *amorf* yang ditunjukkan dari puncak difraktogram yang tajam. Intensitas puncak tertinggi untuk variasi waktu 48 jam terdapat pada $2\theta = 28{,}7°$ dengan nilai intensitas 701, dan untuk variasi waktu 72 jam pada $2\theta = 28{,}65°$ dengan nilai intensitas 1872. Hal ini berarti bahwa oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ telah terbentuk pada suhu sintesis 200 °C dan waktu sintesis 48 jam dan 72 jam. Waktu sintesis 48 jam sudah optimal untuk sintesis oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ dengan suhu tetap 200°C karena telah menunjukkan fasa tunggal namun hasil tersebut lebih maksimal dicapai pada saat waktu sintesis 72 jam karena memiliki nilai FWHM yang lebih kecil dibandingkan waktu sintesis 48 jam meskipun nilainya tidak jauh berbeda.




**Gambar 1.** Perbandingan difraktogram antara variasi waktu 48 dan 72 jam

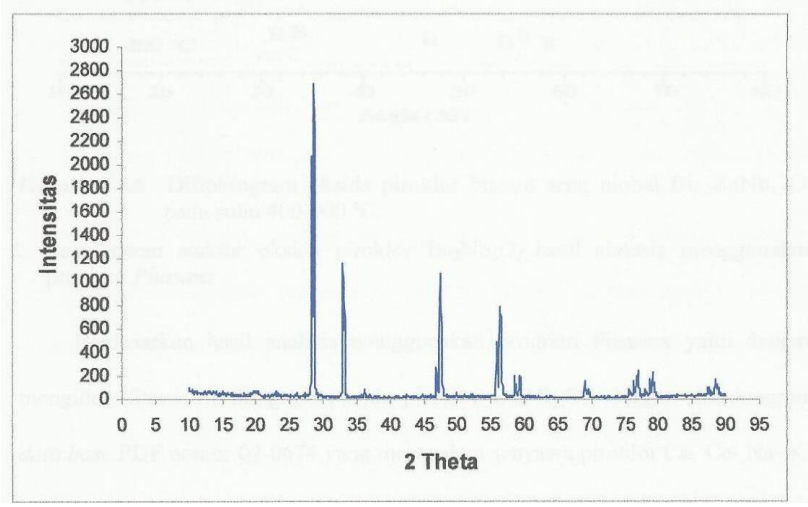
Semakin kecil nilai FWHM dari difraktogram senyawa hasil sintesis, maka semakin tinggi nilai kristalinitas senyawa yang terbentuk. Tabel 1 memperlihatkan nilai perbandingan FWHM antara difraktogram-difraktogram setiap waktu sintesis. Dari tabel tersebut dapat terlihat bahwa senyawa oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ yang terbentuk pada variasi waktu 72 jam memiliki nilai FWHM paling kecil, walaupun selisihnya kecil sekali jika dibandingkan variasi waktu 48 jam namun tetap dapat disimpulkan bahwa struktur senyawa yang terbentuk pada variasi waktu ini adalah yang paling bagus ditinjau dari tingkat kristalinitasnya.

**Tabel 1** Perbandingan nilai FWHM antara variasi waktu 48 dan 72 jam

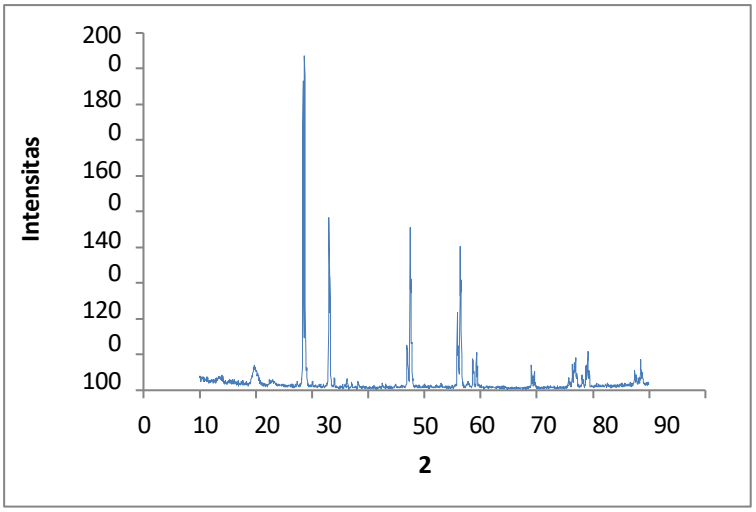
| No. | Faktor Perbandingan | Oksida Piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ | |
|---|---|---|---|
| | | 48 jam | 72 jam |
| 1. | $2\theta$ puncak tertinggi | 28,58° | 28,58° |
| 2. | FWHM | 0,1210 | 0,1209 |
| 3. | Luas area | 0,08 | 0,08 |

***Perbandingan Struktur antara Oksida Piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ yang Disintesis dengan Metode Reaksi Kimia Fasa Padat dan Metode Hidrotermal***

Oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ dengan kristalinitas yang tinggi dihasilkan pada suhu sintesis 1000 °C. Untuk membandingkan tingkat kristalinitas dari difraktorgram yang berbeda ini kita bandingkan nilai FWHM dan luas area pada intensitas puncak tertinggi. Intensitas puncak tertinggi dari difraktogram hasil sintesis reaksi kimia fasa padat terdapat pada $2\theta = 28{,}6250°$ dengan nilai FWHM 0,1055 dan luas area 0,06. Jika dibandingkan dengan intensitas puncak tertinggi dari sintesis dengan metode hidrotermal dari variasi waktu 72 jam pada $2\theta = 28{,}5846°$ dengan nilai FWHM 0,1209 dan luas area 0,08, maka dalam keadaan ini dapat dianggap bahwa struktur senyawa oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ yang disintesis dengan reaksi kimia fasa padat lebih baik daripada yang disintesis dengan reaksi hidrotermal karena memiliki nilai FWHM dan luas area yang lebih kecil.

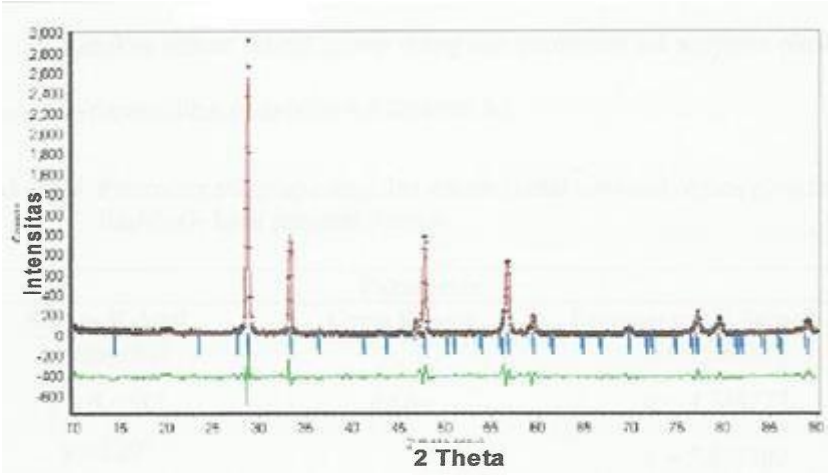



**Gambar 2** Difraktogram senyawa hasil sintesis menggunakan metode reaksi fasa padat.



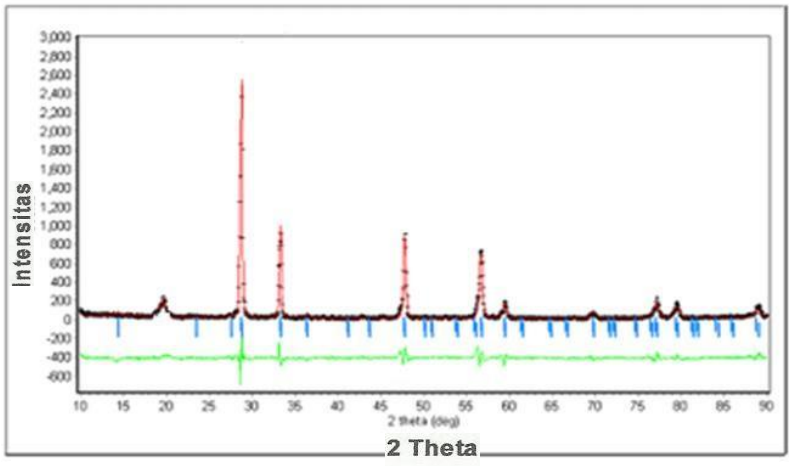

**Gambar 3** Difraktogram senyawa hasil sintesis menggunakan metode hidrotermal

Data hasil difraksi kemudian diolah dengan metode *Rietveld* menggunakan program *Rietica*. Dari pengolahan dengan metode *Rietveld* ini bisa didapatkan nilai indeks Miller, parameter sel, grup ruang serta sistem kristal (bentuk geometri) dari oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ yang dihasilkan.




**Gambar 4** Difraktogram oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ hasil sintesis metode reaksi kimia fasa padat yang sudah diolah dengan program *Rietica*.

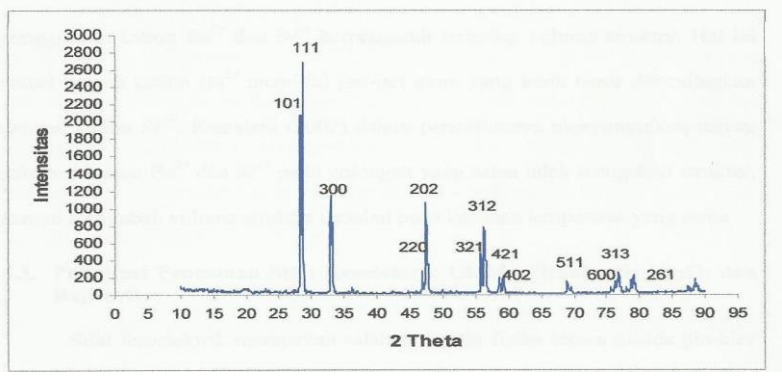
Gambar 5 di bawah ini memperlihatkan difraktogram senyawa oksida logam hasil sintesis dengan metode hidrotermal yang juga sudah diolah dengan program *Rietica*. Tanda (+) berwarna hitam menunjukkan data pengamatan hasil difraksi sinar-X pada sampel $Fe_2Ti_2O_7$ yang digunakan, garis merah menunjukkan difraktogram $Fe_2Ti_2O_7$ yang terdapat dalam *data base* yang digunakan sebagai perbandingan dengan sampel yang diteliti, garis vertikal berwarna bitu merupakan posisi Bragg yang diharapkan sedangkan garis berwarna hijau adalah perbedaan antara data yang terdapat dalam *data base* dengan data pengamatan difraksi sinar-X atau perbandingan antara tanda (+) berwarna hitam dengan garis merah.




**Gambar 5** Difraktogram oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ hasil sintesis metode hidrotermal yang sudah diolah dengan program *Rietica*

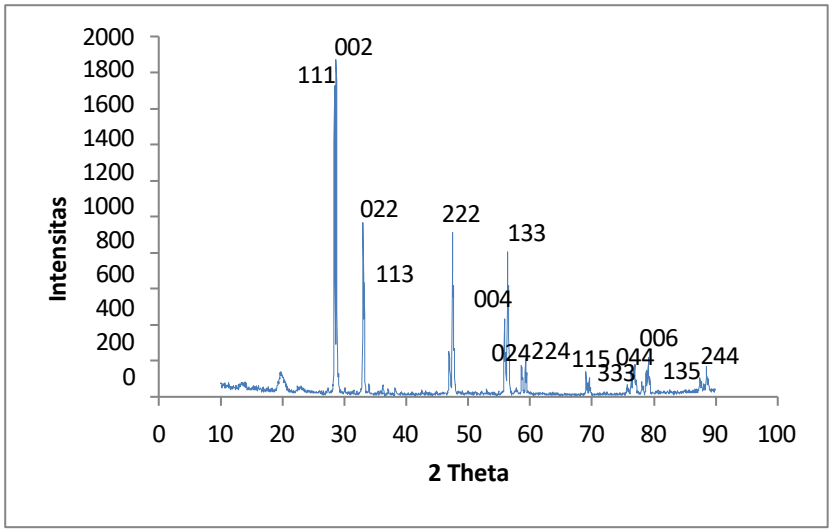
Berdasarkan difraktogram hasil pengolahan program Rietica tersebut diketahui bahwa senyawa yang disintesis memiliki kesesuaian dengan sampel $Fe_2Ti_2O_7$ yang terdapat dalam *data base*. Posisi puncak senyawa yang digunakan yang berwarna hitam berbentuk tanda (+) berada tepat di posisi puncak dari *data base* yang berwarna merah.

Data indeks Miller dari hasil sintesis dengan metode reaksi kimia fasa padat hasil pengolahan program *Rietica* dapat dilihat pada gambar 6 berikut.




**Gambar 6** Difraktogram oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ hasil sintesis metode reaksi kimia fasa padat beserta indeks Millernya.

Indeks Miller merupakan sistem indeks untuk bidang kristal yang terletak pada sumbu yang berbeda. Fungsinya yakni menunjukkan kedudukan atom dalam sel satuan. Indeks Miller untuk hasil sintesis dengan metode hidrotermal diperlihatkan pada gambar 10 di bawah ini. Berdasarkan gambar tersebut terdapat 15 nilai indeks Miller, sesuai dengan jumlah puncak yang terdeteksi oleh difraksi sinar-X.




**Gambar 7** Difraktogram oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ hasil sintesis metode hidrotermal beserta indeks Millernya

Dari kedua difraktorgram di atas terlihat nilai indeks Miller yang bervariasi untuk setiap puncaknya. Hal ini berhubungan dengan fungsinya yakni untuk penggambaran bidang kisi dalam sistem kristalnya. Indeks Miller dari suatu senyawa yang disintesis perlu diketahui karena bidang kisi merupakan salah satu indeks keberhasilan terbentuknya suatu senyawa. Di samping itu, adanya bidang kisi ini juga menandakan bahwa senyawa yang terbentuk berstruktur kristal bukan amorf.

Berdasarkan data pada tabel 2 di atas terdapat 13 puncak yang terdeteksi pada senyawa $Fe_2Ti_2O_7$ yang disintesis dengan reaksi fasa padat sedangkan pada metode hidrotermal jumlah puncak yang terdeteksi sebanyak 15 buah. Hal tersebut bukan menandakan adanya pengotor, melainkan puncak milik senyawa piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ juga. Hal ini diketahui dari difraktogram hasil penelusuran program *Rietica* yang menunjukkan bahwa puncak yang berbeda antara hasil sintesis reaksi fasa padat dan metode hidrotermal yaitu pada posisi 2θ sebesar 33,03 dan 88,57 keduanya berada pada posisi Bragg yang diharapkan. Kemudian data FWHM yang diperoleh digunakan untuk menentukan kristalinitas senyawa yang terbentuk. Semakin kecil nilai FWHMnya semakin baik kristalinitasnya, sedangkan luas area merupakan hasil perhitungan dari luas puncak yang terdeteksi.

Untuk perbandingan sistem kristal, grup ruang dan parameter sel dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

**Tabel 3** Sistem kristal, grup ruang, dan parameter sel senyawa oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ hasil pengindeksan program *Rietica*

| | **Reaksi Kimia Fasa Padat*** | **Hidrotermal** |
|---|---|---|
| Sistem kristal | Heksagonal | Heksagonal |
| Grup ruang | Fd3m | Fd3m |
| Parameter sel (Å) | $a$ = 4,368727 | $a$ = 4,45665 |
| | $b$ = 4,368727 | $b$ = 4,467895 |
| | $c$ = 5,657380 | $c$ = 5,788860 |

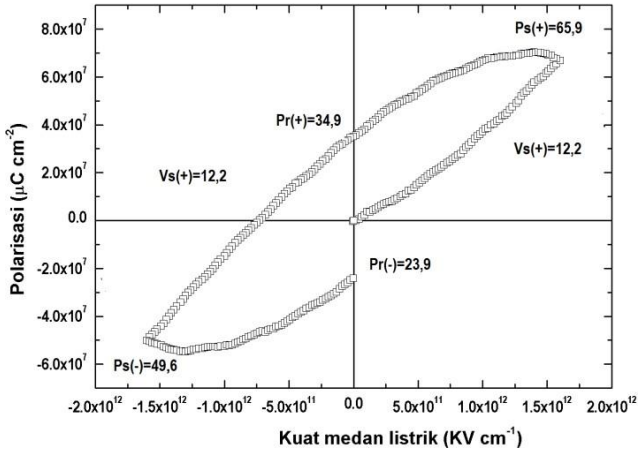
Berdasarkan data pada tabel 3 di atas, maka dapat dikatakan bahwa senyawa oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ yang disintesis melalui dua metode yang berbeda memiliki struktur yang hampir persis sama. Hal ini ditinjau dari sistem kristal dan grup ruangnya yang sama, dan nilai-nilai parameter sel yang memiliki selisih kecil sekali. Tetapi jika ditinjau dari tingkat kristalinitas senyawa seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, maka oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ yang disintesis dengan metode reaksi kimia fasa padat memiliki nilai FWHM lebih kecil daripada yang disintesis dengan metode hidrotermal.

***Sifat Feroelektrik Senyawa Oksida Piroklor $Fe_2Ti_2O_7$***

Sifat feroelektrik adalah kemampuan suatu material untuk terpolarisasi spontan dan mengubah arah listrik internalnya. Material yang memiliki sifat tersebut dapat digunakan sebagai *non-volatile ferroelectric random access memories* (FeRAMs) dan piranti elektronik. Oksida logam

piroklor merupakan salah satu material yang memiliki kemampuan tersebut. Oleh karena itu, oksida logam piroklor hasil sintesis yang paling baik pada penelitian ini perlu diukur dan ditentukan sifat feroelektriknya, yaitu yang dihasilkan pada waktu sintesis 72 jam.

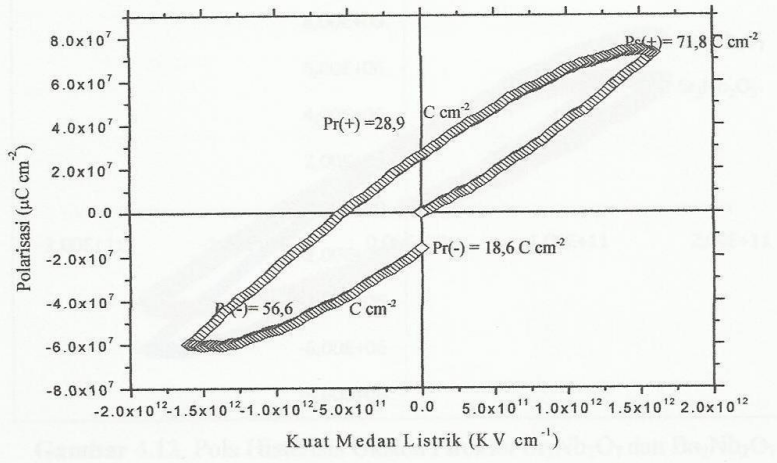
Dari gambar 8 di bawah terlihat bahwa ketika tegangan yang diberikan kepada material mulai dinaikkan, maka nilai polarisasi juga mengalami kenaikan. Dalam hal ini, terjadi proses perubahan arah dari domain-domain momen dipol akibat adanya medan listrik luar. Jika semua domain sudah dalam keadaan sejajar, maka polarisasi akan mencapai tingkat jenuh yang dilambangkan dengan Ps (*polarization saturation*). Ketika medan listrik luar dihilangkan, maka polarisasi tidak kembali pada keadaan nol atau disebut dengan polarisasi remanen (Pr). Selanjutnya medan listrik luar diberikan dengan arah terbalik sehingga domain-domain tadi juga akan mengalami perbalikan arah. Dari kurva terlihat bahwa setelah terjadi proses perbalikan arah, maka nilai-nilai polarisasi mengalami penurunan, baik itu polarisasi remanen (Pr) maupun polarisasi jenuh (Ps). Hal ini bisa terjadi karena sebagian momen dipol tidak berbalik arah mengikuti arah medan listrik luar yang diberikan atau masih mempertahankan arah sebelumnya.




**Gambar 8** Kurva histerisis oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ yang disintesis dengan metode hidrotermal

Oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ yang dihasilkan memiliki sifat feroelektrik Ps(+) 65,9 $Ccm^{-2}$, Ps(-) 49,6 $Ccm^{-2}$, Pr(+) 34,9 $Ccm^{-2}$, Pr(-) 23,9 $Ccm^{-2}$. Nilai polarisasi remanen yang cukup tinggi ini mengindikasikan bahwa material feroelektrik $Fe_2Ti_2O_7$ yang disintesis dengan metode hidrotermal memiliki kemampuan yang besar dalam mempertahankan arah polarisasinya. Sehingga pada saat pemberian medan listrik dihentikan, masih banyak domain yang tetap bertahan pada keaadaannya semula yaitu sejajar dengan arah medan listrik yang diberikan.

***Perbandingan Sifat Feroelektrik antara Oksida Piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ yang Disintesis dengan Metode Reaksi Kimia Fasa Padat dan Metode Hidrotermal***




**Gambar 9** Kurva histerisis oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ yang disintesis dengan metode reaksi kimia fasa padat.

Sifat feroelektrik untuk senyawa oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ yang disintesis dengan metode reaksi kimia fasa padat telah diukur dan ditentukan oleh Misna (2010). Dari penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa nilai polarisasi remanen Pr(+) dan Pr(-) yaitu 28,9 $Ccm^{-2}$ dan 18,6 $Ccm^{-2}$ untuk senyawa oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$.

Hipotesis awal adalah semakin baik struktur oksida logam yang digunakan sebagai material feroelektrik maka akan semakin bagus juga sifat feroelektriknya. Telah dijelaskan sebelumnya bahwa oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ yang terbentuk melalui metode reaksi kimia fasa padat memiliki nilai FWHM lebih kecil daripada yang disintesis dengan metode hidrotermal. Akan tetapi, ketika dilakukan penentuan sifat feroelektrik ternyata oksida logam yang disintesis dengan metode hidrotermal menunjukkan nilai polarisasi remanen yang lebih tinggi.

**Tabel 4.** Perbandingan hasil penentuan sifat feroelektrik antara oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ yang disintesis dengan metode reaksi kimia fasa padat dan metode hidrotermal

| No. | Pengukuran | Reaksi Kimia Fasa Padat* | Hidrotermal |
|---|---|---|---|
| 1. | Vmaks(Volt) | 16 | 16 |
| 2. | Kapasitas pembobot (μF) | 0,10 | 0,10 |
| 3. | A ($cm^{-2}$) | 1,54 | 1,54 |
| 4. | d (μm) | 1000 | 1000 |
| 5. | Jumlah titik | 300 | 300 |
| 6. | Vs(+) (Volt) | 12,20 | 12,20 |
| 7. | Vs(-) (Volt) | 12,20 | 12,20 |
| 8. | Ps(+) ($Ccm^{-2}$) | 71,8 | 65,9 |
| 9. | Ps(-) ($Ccm^{-2}$) | 56,6 | 49,6 |
| 10. | Pr(+) ($Ccm^{-2}$) | 28,9 | 34,9 |
| 11. | Pr(-) ($Ccm^{-2}$) | 18,6 | 23,9 |

Menurut Damjanovic (1998) beberapa faktor yang berpengaruh terhadap nilai feroelektrik antara lain ukuran butiran dan komposisi kristal yang tidak homogen. Nilai feroelektrik yang dihasilkan oleh senyawa yang disintesis dengan metode hidrotermal menunjukkan nilai lebih tinggi hal ini dimungkinkan terjadi karena seperti kita ketahui bahwa dengan suhu sintesis yang rendah maka salah satu keuntungan dari metode hidrotermal yaitu mampu menghasilkan material dengan komposisi yang homogen dan ukuran yang seragam. Berbeda halnya dengan hasil sintesis reaksi fasa padat yang menggunakan suhu tinggi yang dapat mengakibatkan melelehnya senyawa sehingga mengakibatkan komposisi dan ukuran material yang tidak homogen.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka disimpulkan bahwa oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ dapat disintesis dengan metode hidrotermal pada suhu 200 °C, menggunakan NaOH sebagai *mineralizer* dengan konsentrasi sebesar 3 M, dan waktu sintesis 48 dan 72 jam yang menghasilkan senyawa berfasa tunggal. Oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ yang dihasilkan memiliki sistem kristal heksagonal, grup ruang Fd3m, dan parameter sel satuan $a$ = 4,45665 Å, $b$ = 4,467895 Å, $c$ = 5,788860 Å. Oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ yang dihasilkan memiliki sifat feroelektrik Ps(+) 65,9 $Ccm^{-2}$, Ps(-) 49,6 $Ccm^{-2}$, Pr(+) 34,9 $Ccm^{-2}$, Pr(-) 23,9 $Ccm^{-2}$. Senyawa oksida piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ yang disintesis menggunakan metode hidrotermal menghasilkan nilai FWHM yang lebih kecil jika dibandingkan dengan metode reaksi kimia fasa padat, tetapi sifat feroelektrik oksida logam piroklor $Fe_2Ti_2O_7$ yang disintesis dengan metode hidrotermal menunjukkan nilai polarisasi remanen lebih tinggi daripada yang disintesis dengan metode reaksi kimia fasa padat.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam Kesempatan ini penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Lambung Mangkurat sebagai yang memberikan dana melalui anggaran PNBP Tahun Anggra 2024, LPPM sebagai lembaga yang mengelola jalannya penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

Damjanovic, D. 1998. Ferroelectric, Dielectric, And Piezoelectric Properties of Ferroelectric Thin Films and Ceramics. *Rep Prog Phys*. 61:1267-1324.

Mikrianto, E dan Ismunandar. 2004. 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.

Mikrianto, E., Mujiyanti D.R, & Taufiqurohman. 2011. Sintesis dan Penentuan Sifat Feroelektrik Senyawa Oksida Logam Berstruktur Aurivillius $Pb_2Bi_3Ti_{3,5}W_{0,5}O_{15}$. *Jurnal Matematika dan Sains*. Vol. 16, No. 1, Hal 12-16.

Mikrianto, E dan Mujiyanti, D. R. 2011. Sintesis dan Penentuan Struktur Senyawa Oksida Logam Piroklor Tipe $Sr_2Nb_2O_7$ dan $Ba_2Nb_2O_7$. *Sains dan Terapan Kimia*. Vol. 5, No. 1, Hal 56-63.

Misna. 2010. *Pengaruh Jari-Jari Kation A (Sr dan Ba) terhadap Sifat Feroelektrik Senyawa Oksida Logam Berstruktur Piroklor $Sr_2Nb_2O_7$ dan $Ba_2Nb_2O_7$. Skripsi.* Program Sarjana. Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru. (Tidak dipublikasikan).

Rizal, M dan Ismunandar. 2007. *Sintesis dengan Hidrotermal dan Karakterisasi Senyawa Berstruktur Aurivillius $Bi_4Ti_3O_{12}$*. Institut Teknologi Bandung, Bandung.