

ANALISIS GUGUS FUNGSI SENYAWA DERIVAT KALSIUM FOSFAT TULANG IKAN BANDENG (*Chanos-chanos* FORSSKAL) SECARA FISIK.

ANALYSIS OF FUNCTIONAL CALCIUM PHOSPHATE DERIVATE COMPOUNDS OF MILKFISH BONE (*Chanos-chanos* FORSSKAL) PHYSICALLY WAY

Muhammad Fitri¹, Mursalim², Amran Laga², Zainal², Sri Udayana¹

¹Prodi Agroindustri Jurusan TPHP, Politeknik Pertanian Negeri Pangkep

²Jurusan Teknologi Pertanian Universitas Hasanuddin

Correspondence Author : m.fitripolitani@rocketmail.com

ABSTRAK

Penelitian pemanfaatan tulang ikan bandeng (*Chanos-chanos* Forsskal) dengan cara fisik untuk mendegradasi kalsium fosfat, bertujuan untuk menghasilkan senyawa derivat kalsium fosfat (hidroksilapatit, trikalsium fosfat, dikalsium fosfat) dengan lama pengepresan 1,5, 2, 2,5 jam dan frekuensi perebusan yang berbeda. Analisis sampel menggunakan FTIR (Fourier Transform Infrared) dapat mengidentifikasi gugus fungsi dalam sampel. Tepung tulang ikan bandeng pada penelitian ini dimana gugus fungsi hanya terdapat satu apatit karbonat, CO_3^{2-} dimana tipe A (AKA) tidak ada, hanya ada satu apatit karbonat tipe B (AKB) yaitu $1457,99 \text{ cm}^{-1}$ (43,2%) kandungan gugus fosfat (PO_4^{3-}) terbentuk hidroksilapatit pada sudut $2\theta = 31,86^\circ$,

Kata kunci: Derivat kalsium fosfat, ikan bandeng, pengepresan, tulang.

ABSTRACT

*This research on the using of milkfish bones (*Chanos-chanos* Forsskal) physically way to degrade calcium phosphate, aims to produce calcium phosphate derivative compounds (hydroxylapatite, tricalcium phosphate, dicalcium phosphate) with a pressing duration of 1.5, 2, 2.5 hours and boiling frequency different. Sample analysis using FTIR (Fourier Transform Infrared) can identify functional groups in the sample. The milkfish bone meal in this study contained functional groups only contained one apatite carbonate, CO_3^{2-} where type A (AKA) is absent, there is only one apatite carbonate type B (IMR) which is 1457.99 cm^{-1} (43.2%) phosphate group content (PO_4^{3-}) formed hydroxylapatite at an angle of $2\theta = 31.86^\circ$, crystallinity 71.57%, FWHM 0.027 rad. crystal size 5.56 nm*

Keywords: Bone, calcium phosphate derivatives, milkfish, pressing.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan Negara dengan jumlah penduduk sekitar 269,6 juta jiwa (BPS, 2019). Padatnya jumlah penduduk ini menyebabkan meningkatnya berbagai jenis kebutuhan hidup yang harus terpenuhi. Kasus patah tulang di Indonesia mengalami peningkatan setiap tahun. Hal ini menyebabkan meningkatnya kebutuhan akan bahan medis untuk memperbaiki jaringan tulang yang rusak tersebut. Bahan pengganti tulang yang ada saat ini harganya relatif mahal dan tidak terjangkau oleh masyarakat sehingga

perlu adanya pengembangan bahan alternatif pengganti tulang yang harganya terjangkau bagi masyarakat serta aman untuk digunakan.

Salah satu bahan alternatif pengganti tulang adalah dengan menggunakan biomaterial. Biomaterial merupakan material yang disintesis dari bahan alam atau hasil olahan alam baik organik atau anorganik. Syarat yang harus dipenuhi oleh biomaterial sintesis sebagai bahan pengganti tulang adalah dapat diterima tubuh atau biokompatibel dan menguntungkan bagi proses osteokonduksi, osteoinduksi dan osteogenesis tulang guna mendorong formasi pertumbuhan tulang (Wahl dan Czernuszka, 2006).

Hidroksiapatit merupakan biomaterial ataupun sejenis biokeramik yang banyak digunakan sebagai bahan pengganti tulang karena komposisi kimianya mirip dengan fase mineral tulang manusia. Material hidroksiapatit merupakan keramik bioaktif yang memiliki sifat biokompatibilitas dan bioaktifitas yang baik sehingga baik digunakan sebagai implan biomedik maupun membantu proses regenerasi tulang.

TUJUAN PENELITIAN

Menganalisis gugus fungsi senyawa derivat kalsium fosfat tulang ikan bandeng (*Chanos-chanos* Forsskal) dengan perlakuan pengepresan uap air pada tekanan 1 atmosfer suhu 121 °C dengan lama pengepresan dan lama perebusan (secara fisik).

METODE PENELITIAN

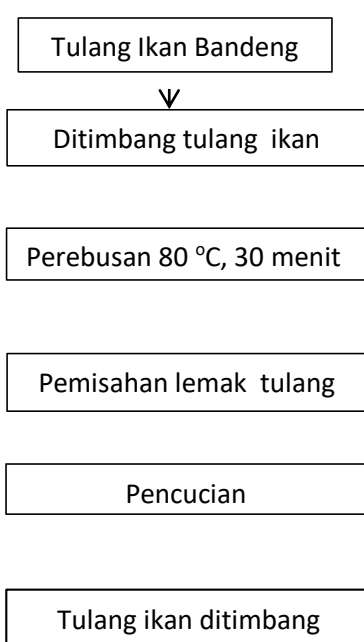
Penelitian ini dilakukan di Mini Plant Agroindustri Politeknik Pertanian Negeri Pangkep pada bulan Januari – Maret 2019. Penelitian proses degradasi tulang ikan bandeng (*chanos-chanos* forsskal) dengan perlakuan pengepresan uap air dengan tekanan 1 atm suhu 121°C dengan lama pengepresan 1,5, 2, 2,5 jam dan lama perebusan 30, 60, 90 menit dengan interval 30 menit. Rancangan acak lengkap dengan 2 faktor, faktor pertama adalah lama pengepresan pada tekanan 1 atm dan suhu 121 °C, dan faktor kedua lama perebusan pada suhu 100°C. Masing-masing (tiga) kali ulangan sehingga diperoleh 27 unit percobaan.

Faktor pertama adalah lama pengepresan dengan menggunakan uap air pada tekanan 1 atm dengan suhu 121 °C (A) dibagi 3 (tiga) taraf yaitu: A_1 = lama pengepresan 1,5 jam, A_2 = lama pengepresan 2 jam, A_3 = lama pengepresan 2,5 jam, Faktor kedua adalah lama perebusan (B) pada suhu 100 °C dibagi 3 (tiga) taraf yaitu: B_1 = lama perebusan frekuensi 1 kali (30 menit), B_2 = lama perebusan frekuensi 2 kali (60 menit), B_3 = lama

perebusan frekuensi 3 kali (90 menit). Setiap taraf lama perebusan atau antara taraf yang satu dengan yang lain ada interval 30 menit.

Proses Penelitian

Tulang ikan bandeng segar ditimbang, kemudian diambil sebagian contoh sampel untuk dianalisa kadar kalsium dan fosfor sedang yang lain (sisanya) direbus dengan suhu 80°C selama 30 menit dengan menggunakan panci, (modifikasi Suryanti *et al.*, 2006; Trilaksani, 2006; Darmawangsyah *et al.*, 2016; Kusumaningrum, 2016). Setelah direbus tulang ikan ditiriskan dan dicuci dengan menggunakan air mengalir untuk memisahkan daging ikan, lemak yang melekat pada tulang ikan, kotoran lain dengan tulang ikan. Tulang ikan yang sudah direbus dan dibersihkan ditimbang kemudian dilunakkan dengan pengepresan uap air dengan tekanan 1 atmosfer pada suhu 121 °C waktu pengepresan; 1,5, 2 dan 2,5 jam. Tulang ikan yang sudah dilunakkan direbus kembali dengan suhu 100 °C selama 30 menit dengan frekuensi perebusan 1 kali (30 menit), 2 kali (60 menit), dan 3 kali (90 menit) dengan interval 30 menit (Trilaksani, 2006; Kusumaningrum, 2016). Tulang yang sudah direbus dikeringkan dengan oven dengan suhu 50 °C mencapai kadar air < 8 % (Darmawangsyah, 2016). Endapan yang sudah kering untuk mendapatkan garam anorganik lalu digiling dengan mesin penghancur tulang SGJ-300 (bone crusher), untuk mendapatkan ukuran senyawa kalsium fosfat. Serbuk yang diperoleh ditimbang. Setelah ditimbang dan dianalisa. Karakteristik fisikokimia tepung tulang ikan bandeng, yaitu: diantaranya gugus fungsi menggunakan FTIR.



Pelunakan dengan pengepresan 121 °C, 1 atm (A₁)=1,5 jam ; (A₂)= 2 jam ; (A₃) = 2,5 jam

Perebusan 100 °C, 30 menit Frekwensi (B₁)= 1 ; (B₂) =2; (B₃) = 3 kali dengan interval 30 menit

Pengeringan Oven 50 °C, <8% kadar air

Penghancuran tulang dengan bone crusher 20 mesh

Senyawa Derivat Kalsium fosfat (hidroksilapatit, trikalsium fosfat, dikalsium fosfat)

Dianalisa: struktur senyawa (FTIR)

Senyawa Derivat Kalsium fosfat

Pengeringan Oven 50 °C, <8% kadar air

Penghancuran tulang dengan

Gambar 1. Diagram alir penelitian lama pengepresan uap air pada tekanan 1 atmosfer pada suhu 121 °C dan lama perebusan yang berbeda

Prosedur Analisis

Karakterisasi Gugus Fungsi Menggunakan FTIR (Huang *et al.*, 2011)

Analisis sampel menggunakan FTIR (Fourier Transform Infrared) dapat mengidentifikasi gugus fungsi dalam sampel, sebanyak 2 mg sampel bubuk kalium

dicampurkan dengan 200 mg KBr, dihomogenisasi, lalu dibentuk pellet menggunakan pompa hidrolis sehingga membentuk kepingan tipis. Pengukuran spectrum sampel menggunakan FTIR (Spectrum one-FT-IR Spectrometer C69526, Perkins Eimer precisely, dihubungkan dengan PC yang dilengkapi perangkat lunak OPUS) pada area IR ($4000-400\text{ cm}^{-1}$). Tampilan data spektrum yang terdapat titik serapan kemudian diubah ke dalam format DPT (data point table) untuk keperluan pengolahan data. Selain data spectrum asli, dihasilkan pula data dengan perlakuan pendahuluan berupa garis dasar koreksi, normalisasi (nilai serapan diatur sehingga serapan tertinggi bernilai satu dan serapan terendah bernilai nol).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui jenis ion atau gugus fungsi khas dan dihasilkan digunakan alat FTIR (*Fourier Transform Infrared*), sampel tulang ikan bandeng terbaca memiliki komponen/gugus yang terdiri dari gugus karboksil (OH^{-1}), gugus karbonat (CO_3^{2-}) dan gugus fosfat (PO_4^{3-}). Ketiga gugus tersebut merupakan komponen utama dalam pembentukan hidroksiapatit, trikalsium fosfat, dan dikalsium fosfat berdasarkan hasil Analisis FTIR.

Hidroksiapatit memiliki kandungan gugus OH^{-} , gugus CO_3^{2-} , dan gugus PO_4^{3-} ini sesuai penelitian Prabarakan dan Rajeswari (2006). Komponen anorganik dalam tulang dan gigi adalah apatit karbonat, berdasarkan lokasinya substitusi (CO_3^{2-}) terdiri dari 2 tipe yaitu apatit karbonat tipe A (AKA) dengan rumus molekul $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{CO}_3$ senyawa ini terbentuk karena ion karbonat (CO_3^{2-}) menggantikan posisi hidroksil (OH^{-}) pada hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) dan apatit karbonat tipe B (AKB) dengan rumus molekul $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_3(\text{CO}_3)_3(\text{OH})_2$ ion karbonat (CO_3^{2-}) menggantikan salah satu posisi ion fosfat (PO_4^{3-}) pada hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$). Terganggunya proses pembentukan kristal hidroksiapatit (HAP) karena keberadaan karbonat (Dahlan *et al.*, 2009).



Gambar 2. Gugus fungsi kalsium fosfat tepung tulang ikan bandeng (*Chanos-chanos* Forsskal) dengan perlakuan lama pengepresan 1,5 jam uap air pada tekanan 1 atmosfer pada suhu 121 °C dengan lama perebusan 30 menit.

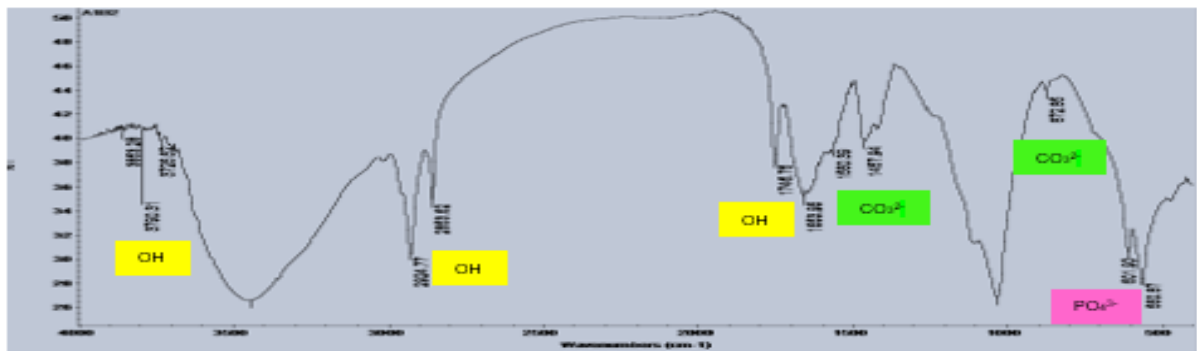
Pada Gambar 2, pada perlakuan lama pengepresan 1,5 jam dengan lama perebusan 30 menit dimana spektra pita absorpsi fosfat (PO_4^{3-}) berada pada frekuensi (bilangan gelombang) $425,70 \text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas 42,527%, $468,89 \text{ cm}^{-1}$ (42,225%) keduanya merupakan $\text{V}_2\text{PO}_4^{3-}$ (vibrasi simetri *bending*), $560,28 \text{ cm}^{-1}$ (41,819%), $601,59 \text{ cm}^{-1}$ (43,307%) keduanya merupakan $\text{V}_4\text{PO}_4^{3-}$ (vibrasi asimetri *bending*), menunjukkan kehadiran kristal hidroksiapatit. Frekuensi $1031,06 \text{ cm}^{-1}$ (45,788%) merupakan pola $\text{V}_3\text{PO}_4^{3-}$ (vibrasi asimetri *stretching*) kesemuanya adalah fosfat (PO_4^{3-}). Kehadiran pita absorpsi fosfat $\text{V}_3\text{PO}_4^{3-}$ menunjukkan bahwa kalsium fosfat pada tulang ikan bandeng hadir dalam bentuk campuran fasa amorfus dan fasa kristalin atau derajat kristalinitas kalsium fosfat. Dimana gugus fungsional P-O memberikan puncak serapan kuat dan tajam.

Terdapat empat apatit karbonat yaitu pada frekuensi $1420,05 \text{ cm}^{-1}$ (51,898%), $1466,26 \text{ cm}^{-1}$ (51,096%), $1504,04 \text{ cm}^{-1}$ (53,377%), $1560,32 \text{ cm}^{-1}$ (49,858%), keempat spektra pita absorpsi karbonat (CO_3^{2-}), dimana tipe A (AKA) ada dua, yaitu $1504,04 \text{ cm}^{-1}$ dan $1560,32 \text{ cm}^{-1}$ adalah rumus molekul $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{CO}_3$ terbentuk karena ion karbonat (CO_3^{2-}) menggantikan posisi hidroksil (OH^{1-}) pada hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), sedangkan yang dua yang lain yaitu $1420,05$, dan $1466,26 \text{ cm}^{-1}$ adalah rumus molekul $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_3(\text{CO}_3)_3(\text{OH})_2$ dimana ion karbonat (CO_3^{2-}) menggantikan salah satu posisi ion fosfat (PO_4^{3-}) pada hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), termasuk apatit karbonat tipe B (AKB) ini sesuai Dahlan *et al.* (2006); Prabakaran and Rajeswari (2006); Eslami *et al.* (2010); Huang *et al.* (2011); Boutinguiza *et al.* (2011); Venkatesan and Kim (2013).

Kandungan gugus fosfat (PO_4^{3-}) pada perlakuan lama pengepresan 1,5 jam dengan lama perebusan 30 menit terbaca oleh pembacaan visual puncak spektra pada bilangan gelombang $1031,06 \text{ cm}^{-1}$ merupakan $\text{V}_3\text{PO}_4^{3-}$ (vibrasi asimetri *stretching*), juga pada pembacaan bilangan gelombang $425,70 \text{ cm}^{-1}$ $\text{V}_2\text{PO}_4^{3-}$, $468,89 \text{ cm}^{-1}$ $\text{V}_2\text{PO}_4^{3-}$, $560,28 \text{ cm}^{-1}$ $\text{V}_4\text{PO}_4^{3-}$, dan $601,59 \text{ cm}^{-1}$ $\text{V}_4\text{PO}_4^{3-}$.

Pada Gambar 3, pada perlakuan lama pengepresan 1,5 jam dengan lama perebusan 60 menit dimana spektra pita absorpsi fosfat (PO_4^{3-}) berada pada frekuensi $560,87 \text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas (28,122%), $601,90 \text{ cm}^{-1}$ (30,506%), keduanya merupakan pola $\text{V}_4\text{PO}_4^{3-}$ (vibrasi asimetri *bending*), dan $1030,48 \text{ cm}^{-1}$ (26,742%) merupakan $\text{V}_3\text{PO}_4^{3-}$ (vibrasi asimetri *stretching*) adalah fosfat (PO_4^{3-}).

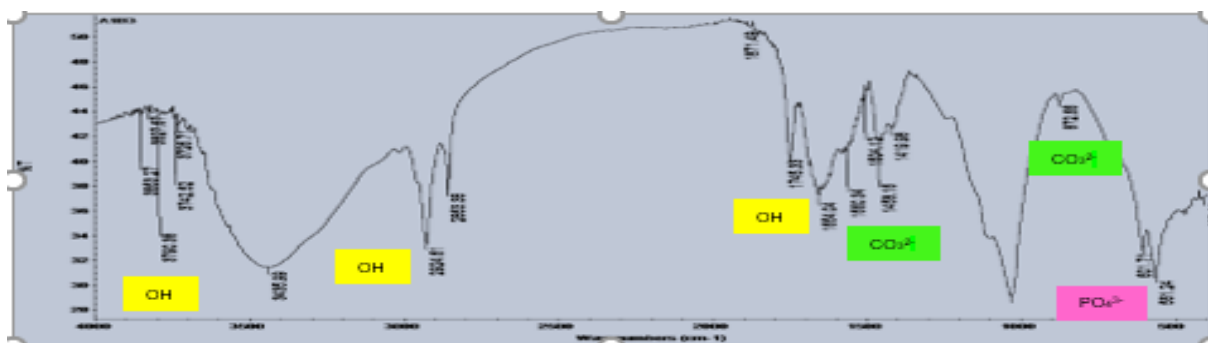
Terdapat tiga apatit karbonat, dimana tipe A (AKA) ada satu, yaitu $1560,39 \text{ cm}^{-1}$ (38,518%) adalah $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{CO}_3$ dimana ion karbonat (CO_3^{2-}) menggantikan posisi hidroksil (OH^{1-}) pada hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, sedangkan yang dua termasuk apatit karbonat tipe B (AKB) yaitu $1457,945 \text{ cm}^{-1}$ (39,655%) dan $872,85 \text{ cm}^{-1}$ (43,929%) adalah senyawa $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_3(\text{CO}_3)_3(\text{OH})_2$ dimana ion karbonat (CO_3^{2-}) menggantikan salah satu posisi ion fosfat (PO_4^{3-}) pada hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, ini sesuai Dahlan *et al.* (2006); Prabakaran and Rajeswari (2006); Eslami *et al.* (2010); Huang *et al.* (2011); Boutinguiza, *et al.* (2011); Venkatesan and Kim (2013); Amalia *et al.* (2018).



Gambar 3. Gugus fungsi kalsium fosfat tepung tulang ikan bandeng (*Chanos-chanos* Forsskal) dengan perlakuan lama pengepresan 1,5 jam uap air pada tekanan 1 atmosfer pada suhu $121 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan lama perebusan 60 menit.

Kandungan gugus fosfat (PO_4^{3-}) pada perlakuan lama pengepresan 1,5 jam dengan lama perebusan 60 menit terbaca oleh pembacaan visual puncak spektra pada bilangan gelombang $1030,48 \text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas 26,742% merupakan $\text{V}_3\text{PO}_4^{3-}$ (vibrasi asimetri *stretching*) yang memberikan puncak serapan kuat dan tajam yang menunjukkan (PO_4^{3-}) sebagai karakteristik hidroksiapatit juga pada pembacaan bilangan gelombang $560,87 \text{ cm}^{-1}$ - $601,90 \text{ cm}^{-1}$.

Pada Gambar 4 perlakuan lama pengepresan 1,5 jam dengan lama perebusan 90 menit dimana spektra pita absorpsi fosfat (PO_4^{3-}) berada pada frekuensi $407,44 \text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas (36,792%) merupakan pola $561,24 \text{ cm}^{-1}$ (30,405%), $601,71 \text{ cm}^{-1}$ (32,679%) keduanya merupakan pola $\text{V}_4\text{PO}_4^{3-}$ (vibrasi asimetri *bending*), spektra pita absorpsi fosfat (PO_4^{3-}) berada pada frekuensi $1030,86 \text{ cm}^{-1}$ (29,025%) merupakan $\text{V}_3\text{PO}_4^{3-}$ (vibrasi asimetri *stretching*).

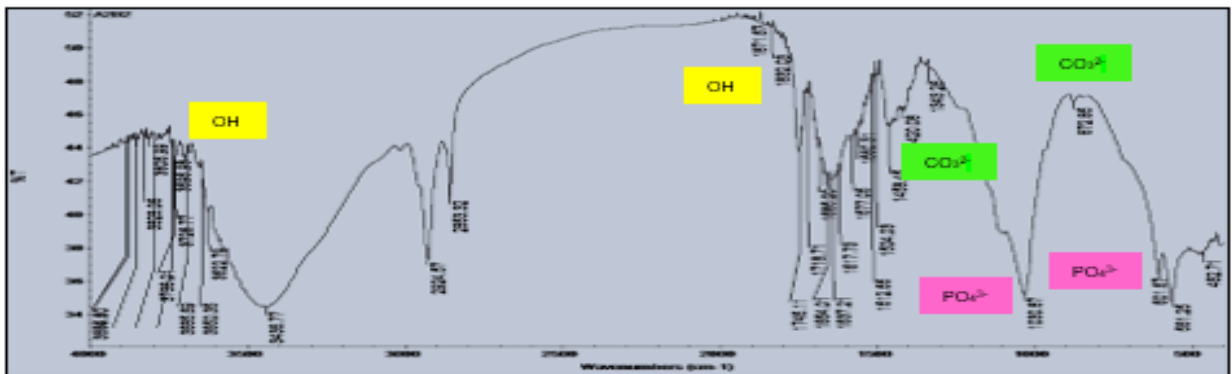


Gambar 4. Gugus fungsi kalsium fosfat tepung tulang ikan bandeng (*Chanos-chanos* Forsskal) dengan perlakuan lama pengepresan 1,5 jam uap air pada tekanan 1 atmosfer pada suhu $121 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan lama perebusan 90 menit.

Terdapat lima apatit karbonat, dimana tipe A(AKA) ada dua, yaitu pada $1504,12 \text{ cm}^{-1}$ (45,478%), $1560,34 \text{ cm}^{-1}$ (40,075%) adalah senyawa $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{CO}_3$ dimana ion karbonat (CO_3^{2-}) menggantikan posisi hidroksil (OH^{1-}) pada hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), sedangkan yang tiga termasuk apatit karbonat tipe B (AKB) yaitu $1419,98 \text{ cm}^{-1}$ (42,433%), $1458,16 \text{ cm}^{-1}$ (41,544%) dan $872,66 \text{ cm}^{-1}$ (44,799%) adalah senyawa $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_3(\text{CO}_3)_3(\text{OH})_2$ dimana ion karbonat (CO_3^{2-}) menggantikan salah satu posisi ion fosfat (PO_4^{3-}) pada hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), ini sesuai Dahlan *et al.* (2006); Prabakaran and Rajeswari (2006); Eslami *et al.* (2010); Boutinguiza *et al.* (2011); Huang *et al.* (2011); Venkatesan and Kim (2013).

Kandungan gugus fosfat (PO_4^{3-}) sampel perlakuan lama pengepresan 1,5 jam dengan lama perebusan 90 menit terbaca oleh pembacaan visual puncak spektra pada bilangan gelombang $1030,86 \text{ cm}^{-1} \text{V}_3\text{PO}_4^{3-}$, juga pada pembacaan bilangan gelombang $407,44 \text{ V}_2\text{PO}_4^{3-} - 601,71 \text{ cm}^{-1} \text{V}_4\text{PO}_4^{3-}$.

Pada Gambar 5. pada perlakuan lama pengepresan 2 jam dengan lama perebusan 30 menit dimana spektra pita absorpsi fosfat (PO_4^{3-}) berada pada frekuensi atau bilangan gelombang $560,67 \text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas 29,659%, $601,89 \text{ cm}^{-1}$ (31,716%) keduanya merupakan $\text{V}_4\text{PO}_4^{3-}$ (vibrasi asimetri *bending*), $1030,52 \text{ cm}^{-1}$ (29,654%) merupakan $\text{V}_3\text{PO}_4^{3-}$ (vibrasi asimetri *stretching*), terdapat lima apatit karbonat, dimana tipe A (AKA) ada dua, yaitu pada $1504,11 \text{ cm}^{-1}$ (44,072%), dan $1560,33 \text{ cm}^{-1}$ (39,195%) adalah $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{CO}_3$ dimana ion karbonat (CO_3^{2-}) menggantikan posisi hidroksil (OH^{1-}) pada hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), sedangkan yang tiga termasuk apatit karbonat tipe B (AKB) yaitu nomor $1419,96 \text{ cm}^{-1}$ (41,315%), $1458,21 \text{ cm}^{-1}$ (40,430%), dan $872,89 \text{ cm}^{-1}$ (43,313%) adalah senyawa $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_3(\text{CO}_3)_3(\text{OH})_2$ dimana ion karbonat (CO_3^{2-}) menggantikan salah satu posisi ion fosfat (PO_4^{3-}) pada hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), ini sesuai Dahlan *et al.* (2006); Prabakaran and Rajeswari (2006); Eslami *et al.* (2010); Huang *et al.* (2011); Boutinguiza *et al.* (2011); Venkatesan and Kim (2013)



Gambar 6. Gugus fungsi kalsium fosfat tepung tulang ikan bandeng (*Chanos-chanos* Forsskal) dengan perlakuan lama pengepresan 2 jam uap air pada tekanan 1 atmosfer pada suhu $121 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan lama perebusan 60 menit.

Kandungan gugus fosfat (PO_4^{3-}) sampel Perlakuan lama pengepresan 2 jam dengan lama perebusan 60 menit terbaca oleh pembacaan visual puncak spektra bilangan gelombang $1030,87 \text{ V}_3\text{PO}_4^{3-} - 1343,26 \text{ cm}^{-1} \text{V}_3\text{PO}_4^{3-}$, juga pada pembacaan bilangan gelombang $462,71 \text{ V}_2\text{PO}_4^{3-} - 601,67 \text{ cm}^{-1} \text{V}_4\text{PO}_4^{3-}$. Terbacanya gugus fosfat (PO_4^{3-}) dan

terbentuknya kompleks fosfat (PO_4^{3-}) pada bilangan gelombang berkisar 1.000 cm^{-1} – 1.100 cm^{-1} dengan pola vibrasi asimetri *stretching* $1030,87 \text{ cm}^{-1}$, serta pada bilangan gelombang $576,30 \text{ V}_3\text{PO}_4^3$, $561,25 \text{ V}_3\text{PO}_4^3$ - $601,67 \text{ cm}^{-1}\text{V}_3\text{PO}_4^3$. Sementara pembacaan bilangan gelombang $1617,37$, $1654,01$ – $3885,90$, $\text{cm}^{-1}\text{OH}^{1-}$, ini mempunyai kesamaan penelitian Mondal *et al.*(2012).

Pada Gambar 7, pada perlakuan lama pengepresan 2 jam dengan lama perebusan 90 menit dimana spektra pita absorpsi fosfat PO_4^{3-} berada pada frekuensi atau bilangan gelombang $407,36 \text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas $40,735\%$, $469,46$ ($39,805\%$), keduanya merupakan V_2PO_4^3 (vibrasi simetri *bending*). Frekuensi atau bilangan gelombang $560,93$ ($34,601\%$), dan $601,82$ ($36,917\%$) keduanya merupakan V_4PO_4^3 (vibrasi asimetri *bending*), $1030,80 \text{ cm}^{-1}$ ($34,058\%$) merupakan pola V_3PO_4^3 (vibrasi asimetri *stretching*).

Terdapat lima apatit karbonat, dimana tipe A(AKA) ada dua, yaitu pada $1504,10$ ($50,816\%$), dan $1560,34 \text{ cm}^{-1}$ ($45,636\%$) adalah senyawa $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{CO}_3$ dimana ion karbonat (CO_3^{2-}) menggantikan posisi hidroksil (OH^{1-}) pada hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, sedangkan yang tiga termasuk apatit karbonat tipe B (AKB) yaitu $1419,92$ ($47,716\%$), $1458,19$ ($46,844\%$), dan $872,59 \text{ cm}^{-1}$ ($49,661\%$) adalah senyawa $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_3(\text{CO}_3)_3(\text{OH})_2$ dimana ion karbonat (CO_3^{2-}) menggantikan salah satu posisi ion fosfat (PO_4^{3-}) pada hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, ini sesuai Dahlan *et al.* (2006); Prabakaran and Rajeswari (2006); Eslami *et al.* (2010); Huang *et al.* (2011); Boutinguiza *et al.* (2011); Venkatesan and Kim (2013).

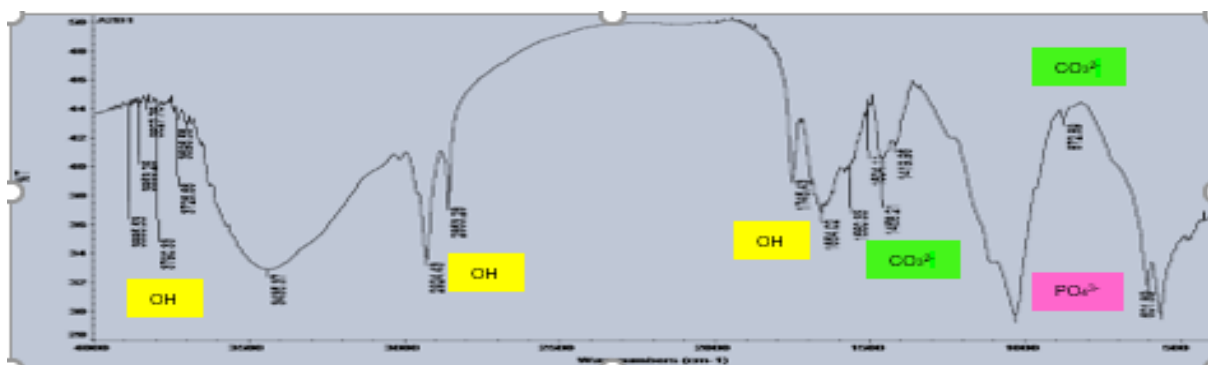
Kandungan gugus fosfat (PO_4^3) sampel perlakuan lama pengepresan 2 jam dengan lama perebusan 90 menit terbaca oleh pembacaan visual puncak spektra pada bilangan gelombang $1030,80 \text{ cm}^{-1}$, juga pada pembacaan bilangan gelombang $407,36$ - $601,82 \text{ cm}^{-1}$.

Kandungan gugus fosfat (PO_4^{3-}) sampel Perlakuan lama pengepresan 2 jam dengan lama perebusan 60 menit terbaca oleh pembacaan visual puncak spektra bilangan gelombang $1030,87\text{V}_3\text{PO}_4^3$ - $1343,26 \text{ cm}^{-1}\text{V}_3\text{PO}_4^3$, juga pada pembacaan bilangan gelombang $462,71\text{V}_2\text{PO}_4^3$ - $601,67 \text{ cm}^{-1}\text{V}_4\text{PO}_4^3$. Terbacanya gugus fosfat (PO_4^{3-}) dan terbentuknya kompleks fosfat (PO_4^{3-}) pada bilangan gelombang berkisar 1.000 cm^{-1} – 1.100 cm^{-1} dengan pola vibrasi asimetri *stretching* $1030,87 \text{ cm}^{-1}$, serta pada bilangan gelombang $576,30 \text{ V}_3\text{PO}_4^3$, $561,25 \text{ V}_3\text{PO}_4^3$ - $601,67 \text{ cm}^{-1}\text{V}_3\text{PO}_4^3$. Sementara pembacaan bilangan gelombang $1617,37$, $1654,01$ – $3885,90$, $\text{cm}^{-1}\text{OH}^{1-}$, ini mempunyai kesamaan penelitian Mondal *et al.*(2012).

Pada Gambar 7, pada perlakuan lama pengepresan 2 jam dengan lama perebusan 90 menit dimana spektra pita absorpsi fosfat PO_4^{3-} berada pada frekuensi atau bilangan gelombang $407,36 \text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas 40,735%, $469,46 \text{ cm}^{-1}$ (39,805%), keduanya merupakan $\text{V}_2\text{PO}_4^{3-}$ (vibrasi simetri *bending*). Frekuensi atau bilangan gelombang $560,93 \text{ cm}^{-1}$ (34,601%), dan $601,82 \text{ cm}^{-1}$ (36,917%) keduanya merupakan $\text{V}_4\text{PO}_4^{3-}$ (vibrasi asimetri *bending*), $1030,80 \text{ cm}^{-1}$ (34,058%) merupakan pola $\text{V}_3\text{PO}_4^{3-}$ (vibrasi asimetri *stretching*).

Terdapat lima apatit karbonat, dimana tipe A(AKA) ada dua, yaitu pada $1504,10 \text{ cm}^{-1}$ (50,816%), dan $1560,34 \text{ cm}^{-1}$ (45,636%) adalah senyawa $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{CO}_3$ dimana ion karbonat (CO_3^{2-}) menggantikan posisi hidroksil (OH^{-}) pada hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), sedangkan yang tiga termasuk apatit karbonat tipe B (AKB) yaitu $1419,92 \text{ cm}^{-1}$ (47,716%), $1458,19 \text{ cm}^{-1}$ (46,844%), dan $872,59 \text{ cm}^{-1}$ (49,661%) adalah senyawa $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_3(\text{CO}_3)_3(\text{OH})_2$ dimana ion karbonat (CO_3^{2-}) menggantikan salah satu posisi ion fosfat (PO_4^{3-}) pada hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), ini sesuai Dahlan *et al.* (2006); Prabakaran and Rajeswari (2006); Eslami *et al.* (2010); Huang *et al.* (2011); Boutinguiza *et al.* (2011); Venkatesan and Kim (2013).

Kandungan gugus fosfat (PO_4^{3-}) sampel perlakuan lama pengepresan 2 jam dengan lama perebusan 90 menit terbaca oleh pembacaan visual puncak spektra pada bilangan gelombang $1030,80 \text{ cm}^{-1}$, juga pada pembacaan bilangan gelombang $407,36-601,82 \text{ cm}^{-1}$.

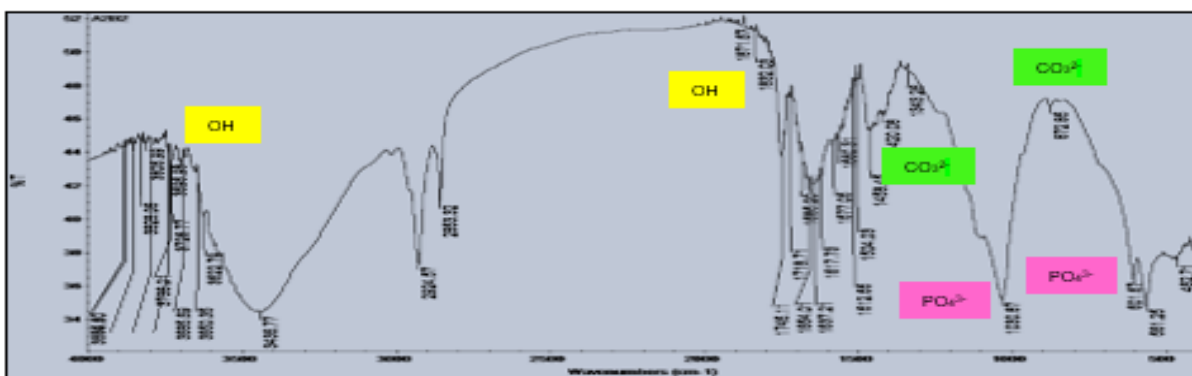


Gambar 5. Gugus fungsi kalsium fosfat tepung tulang ikan bandeng (*Chanos-chanos* Forsskal) dengan perlakuan lama pengepresan 2 jam uap air pada tekanan 1 atmosfer pada suhu $121 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan lama perebusan 30 menit .

Kandungan gugus fosfat (PO_4^{3-}) pada perlakuan lama pengepresan 2 jam dengan lama perebusan 30 menit terbaca oleh pembacaan visual puncak spektra pada bilangan gelombang $1030,52 \text{ cm}^{-1}$ $\text{V}_3\text{PO}_4^{3-}$, juga pada pembacaan bilangan gelombang $560,67 \text{ cm}^{-1}$ $\text{V}_4\text{PO}_4^{3-}$ - $601,89 \text{ cm}^{-1}$ $\text{V}_4\text{PO}_4^{3-}$.

Gambar 6 pada perlakuan lama pengepresan 2 jam dengan lama perebusan 60 menit dimana spektra pita absorpsi fosfat (PO_4^{3-}) berada pada frekuensi atau bilangan gelombang 462, 71 cm^{-1} dengan intensitas 37,803% merupakan pola $\text{V}_2\text{PO}_4^{3-}$ (vibrasi simetri *bending*), 561,25(34,844%), 601,67(36,304%) keduanya merupakan $\text{V}_4\text{PO}_4^{3-}$ (vibrasi asimetri *bending*), 1030,87 cm^{-1} (36,150%) merupakan pola $\text{V}_3\text{PO}_4^{3-}$ (vibrasi asimetri *stretching*).

Terdapat tujuh apatit karbonat, dimana tipe A (AKA) ada empat, yaitu pada 1504,03 (46,226%), dan 1512,55(47,363%), 1560,31(43,795%), dan 1577,05 cm^{-1} (44,237%) adalah senyawa $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{CO}_3$ dimana ion karbonat (CO_3^{2-}) menggantikan posisi hidroksil (OH^{1-}) pada hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), sedangkan yang tiga termasuk apatit karbonat tipe B (AKB) yaitu 1420,08(45,859%), 1458,45(45,134%), dan 872,85 cm^{-1} (46,729%) adalah senyawa $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_3(\text{CO}_3)_3(\text{OH})_2$ dimana ion karbonat (CO_3^{2-}) menggantikan salah satu posisi ion fosfat (PO_4^{3-}) pada hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), ini sesuai Dahlan *et al.* (2006); Prabakaran and Rajeswari (2006); Eslami *et al.* (2010); Huang *et al.* (2011); Boutinguiza *et al.* (2011); Venkatesan and Kim (2013).



Gambar 6. Gugus fungsi kalsium fosfat tepung tulang ikan bandeng (*Chanos-chanos* Forsskal) dengan perlakuan lama pengepresan 2 jam uap air pada tekanan 1 atmosfer pada suhu 121 °C dengan lama perebusan 60 menit.

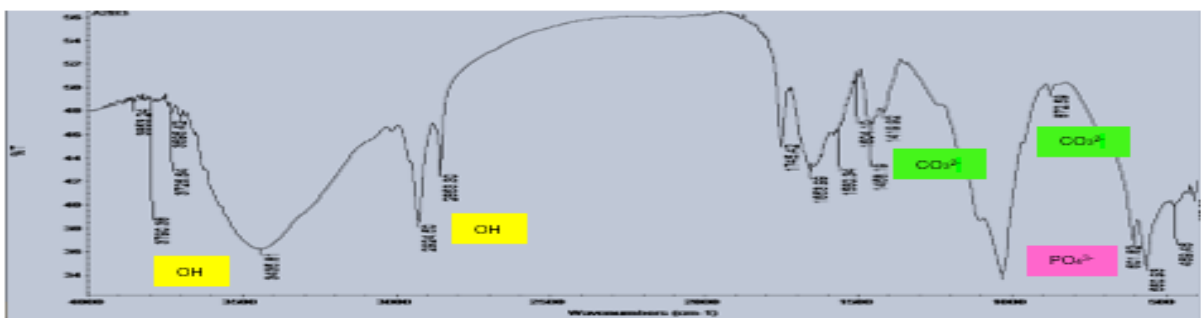
Kandungan gugus fosfat (PO_4^{3-}) sampel Perlakuan lama pengepresan 2 jam dengan lama perebusan 60 menit terbaca oleh pembacaan visual puncak spektra bilangan gelombang 1030,87 $\text{V}_3\text{PO}_4^{3-}$ - 1343,26 cm^{-1} $\text{V}_3\text{PO}_4^{3-}$, juga pada pembacaan bilangan gelombang 462,71 $\text{V}_2\text{PO}_4^{3-}$ - 601,67 cm^{-1} $\text{V}_4\text{PO}_4^{3-}$. Terbacanya gugus fosfat (PO_4^{3-}) dan terbentuknya kompleks fosfat (PO_4^{3-}) pada bilangan gelombang berkisar 1.000 cm^{-1} – 1.100 cm^{-1} dengan pola vibrasi asimetri *stretching* 1030,87 cm^{-1} , serta

pada bilangan gelombang 576,30 $V_3PO_4^3$, 561,25 $V_3PO_4^{3-}$ 601,67 $cm^{-1}V_3PO_4^3$. Sementara pembacaan bilangan gelombang 1617,37, 1654,01–3885,90, $cm^{-1}OH^{-1}$, ini mempunyai kesamaan penelitian Mondal *et al.*(2012).

Pada Gambar 7, pada perlakuan lama pengepresan 2 jam dengan lama perebusan 90 menit dimana spektra pita absorpsi fosfat PO_4^{3-} berada pada frekuensi atau bilangan gelombang 407,36 cm^{-1} dengan intensitas 40,735%, 469,46 (39,805%), keduanya merupakan $V_2PO_4^{3-}$ (vibrasi simetri *bending*). Frekuensi atau bilangan gelombang 560,93 (34,601%), dan 601,82(36,917%) keduanya merupakan $V_4PO_4^{3-}$ (vibrasi asimetri *bending*), 1030,80 cm^{-1} (34,058%) merupakan pola $V_3PO_4^{3-}$ (vibrasi asimetri *stretching*).

Terdapat lima apatit karbonat, dimana tipe A(AKA) ada dua, yaitu pada 1504,10 (50,816%), dan 1560,34 cm^{-1} (45,636%) adalah senyawa $Ca_{10}(PO_4)_6CO_3$ dimana ion karbonat (CO_3^{2-}) menggantikan posisi hidroksil (OH^{-1}) pada hidroksiapatit ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$), sedangkan yang tiga termasuk apatit karbonat tipe B (AKB) yaitu 1419,92 (47,716%),1458,19(46,844%), dan 872,59 cm^{-1} (49,661%) adalah senyawa $Ca_{10}(PO_4)_3(CO_3)_3(OH)_2$ dimana ion karbonat (CO_3^{2-}) menggantikan salah satu posisi ion fosfat (PO_4^{3-}) pada hidroksiapatit ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$), ini sesuai Dahlan *et al.* (2006); Prabakaran and Rajeswari (2006); Eslami *et al.* (2010); Huang *et al.* (2011); Boutinguiza *et al.* (2011); Venkatesan and Kim (2013).

Kandungan gugus fosfat (PO_4^3) sampel perlakuan lama pengepresan 2 jam dengan lama perebusan 90 menit terbaca oleh pembacaan visual puncak spektra pada bilangan gelombang 1030,80 cm^{-1} , juga pada pembacaan bilangan gelombang 407,36-601,82 cm^{-1} .

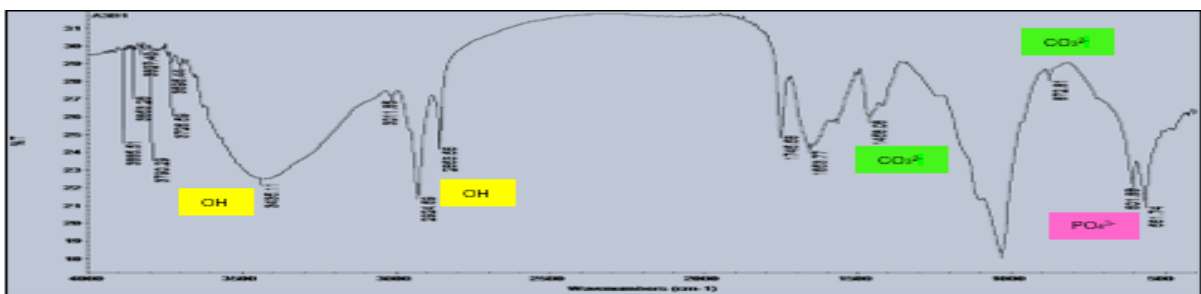


Gambar 7. Gugus fungsi kalsium fosfat tepung tulang ikan bandeng (*Chanos-chanos* Forsskal) dengan perlakuan lama pengepresan 2 jam uap air pada tekanan 1 atmosfer pada suhu 121 °C dengan lama perebusan 90 menit.

Pada Gambar 8 pada perlakuan lama autoclaving 2,5 jam dengan lama perebusan 30 menit dimana spektra pita absorpsi fosfat (PO_4^{3-}) berada pada frekuensi atau bilangan gelombang $561,74 \text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas 21,171%, $601,88 \text{ cm}^{-1}$ (22,210%) keduanya merupakan pola $\text{V}_4\text{PO}_4^{3-}$ (vibrasi asimetri *bending*), $1031,13 \text{ cm}^{-1}$ (18,288%) merupakan pola $\text{V}_3\text{PO}_4^{3-}$ (vibrasi asimetri *stretching*).

Terdapat dua apatit karbonat, dimana tipe A (AKA) tidak ada, hanya dua apatit karbonat tipe B (AKB) yaitu $1458,08$ (25,991%), dan $872,81 \text{ cm}^{-1}$ (28,439%) adalah senyawa $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_3(\text{CO}_3)_3(\text{OH})_2$ dimana ion karbonat (CO_3^{2-}) menggantikan salah satu posisi ion fosfat (PO_4^{3-}) pada hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), ini sesuai Dahlan *et al.* (2006); Prabakaran and Rajeswari (2006); Eslami *et al.* (2010); Huang *et al.* (2011); Boutinguiza *et al.* (2011); Venkatesan and Kim (2013).

Kandungan gugus fosfat (PO_4^{3-}) sampel perlakuan lama pengepresan 2,5 jam dengan lama perebusan 30 menit terbaca oleh pembacaan visual puncak spektra pada bilangan gelombang $1031,13 \text{ cm}^{-1}$ $\text{V}_3\text{PO}_4^{3-}$, juga pada pembacaan bilangan gelombang $561,74 \text{ V}_4(\text{PO}_4^{3-} - 601,88 \text{ cm}^{-1} \text{V}_4\text{PO}_4^{3-}$. Terbacanya gugus fosfat (PO_4^{3-}) dan terbentuknya kompleks fosfat (PO_4^{3-}) pada bilangan gelombang berkisar 1.000 cm^{-1} – 1.100 cm^{-1} dengan pola vibrasi asimetri *stretching* $1031,13 \text{ cm}^{-1}$ serta pada bilangan gelombang $576,30$ dengan pola vibrasi simetri *bending* ($561,74$ - $601,88 \text{ cm}^{-1}$), ini mempunyai kesamaan pada penelitian Mondal *et al.* (2012).



Gambar 8 Gugus fungsi kalsium fosfat tepung tulang ikan bandeng (*Chanos-chanos* Forsskal) dengan perlakuan lama pengepresan 2,5 jam uap air pada tekanan 1 atmosfer pada suhu $121 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan lama perebusan 30 menit.

Pada Gambar 9 pada perlakuan lama autoclaving 2,5 jam dengan lama perebusan 60 menit dimana spektra pita absorpsi fosfat (PO_4^{3-}) berada pada frekuensi atau bilangan gelombang $407,26 \text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas 38,087% merupakan $\text{V}_2\text{PO}_4^{3-}$ (vibrasi simetri

bending), 560,82 (31,443%), 601,47(33,686%) keduanya merupakan $V_4PO_4^{3-}$ (vibrasi asimetri *bending*), 1030,64 cm^{-1} (31,027%) merupakan pola $V_3PO_4^{3-}$ (vibrasi asimetri *stretching*).

Terdapat lima apatit karbonat, dimana tipe A (AKA) ada dua yaitu 1504,14 (47045%), dan 1560,29 cm^{-1} (41,589%) dimana ion karbonat (CO_3^{2-}) menggantikan posisi hidroksil (OH^{-}) sehingga terbentuk senyawa $Ca_{10}(PO_4)_6CO_3$ pada hidroksiapatit ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$, sedangkan apatit karbonat tipe B (AKB) ada tiga yaitu 1419,95(44,072%), 1458,25(43,071%), dan 872,79 cm^{-1} (46,336%) dimana ion karbonat (CO_3^{2-}) menggantikan salah satu posisi ion fosfat (PO_4^{3-}) menjadi $Ca_{10}(PO_4)_3(CO_3)_3(OH)_2$ pada hidroksiapatit ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$, ini sesuai Dahlan *et al.* (2006); Prabakaran and Rajeswari (2006); Eslami *et al.* (2010) Huang *et al.* (2011); Boutinguiza *et al.* (2011); Venkatesan and Kim (2013).

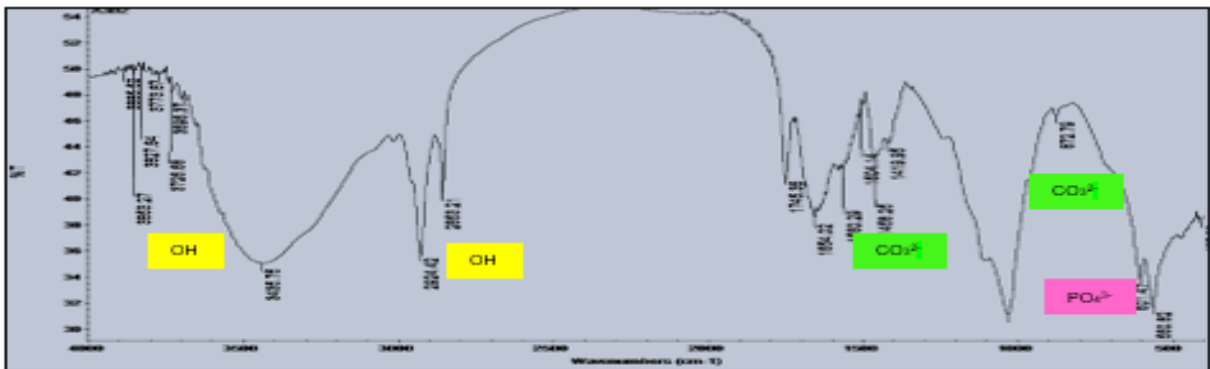
Kandungan gugus fosfat (PO_4^{3-}) sampel perlakuan lama pengepresan 2,5 jam dengan lama perebusan 60 menit terbaca oleh pembacaan visual puncak spektra pada bilangan gelombang 1030,64 cm^{-1} merupakan $V_3PO_4^{3-}$, juga pada pembacaan bilangan gelombang 407,26 cm^{-1} $V_2PO_4^{3-}$, 560,82-601,88 cm^{-1} keduanya merupakan $V_4PO_4^{3-}$. Terbacanya gugus fosfat (PO_4^{3-}) dan terbentuknya kompleks fosfat (PO_4^{3-}) pada bilangan gelombang berkisar 1.000 cm^{-1} –1.100 cm^{-1} dengan pola vibrasi asimetri *stretching* 1031,13 cm^{-1} serta pada bilangan gelombang 407,26 cm^{-1} dengan pola vibrasi simetri *stretching* ($V_2PO_4^{3-}$) sementara 561,74-601,88 cm^{-1} dengan pola vibrasi $V_4PO_4^{3-}$ (vibrasi asimetri *bending*), ini mempunyai kesamaan pada penelitian Mondal *et al.* (2012).

Pada Gambar 9 pada perlakuan lama autoclaving 2,5 jam dengan lama perebusan 60 menit dimana spektra pita absorpsi fosfat (PO_4^{3-}) berada pada frekuensi atau bilangan gelombang 407,26 cm^{-1} dengan intensitas 38,087% merupakan $V_2PO_4^{3-}$ (vibrasi simetri *bending*), 560,82 (31,443%), 601,47(33,686%) keduanya merupakan $V_4PO_4^{3-}$ (vibrasi asimetri *bending*), 1030,64 cm^{-1} (31,027%) merupakan pola $V_3PO_4^{3-}$ (vibrasi asimetri *stretching*).

Terdapat lima apatit karbonat, dimana tipe A (AKA) ada dua yaitu 1504,14 (47045%), dan 1560,29 cm^{-1} (41,589%) dimana ion karbonat (CO_3^{2-}) menggantikan posisi hidroksil (OH^{-}) sehingga terbentuk senyawa $Ca_{10}(PO_4)_6CO_3$ pada hidroksiapatit ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$, sedangkan apatit karbonat tipe B (AKB) ada tiga yaitu

1419,95(44,072%), 1458,25(43,071%), dan 872,79 cm^{-1} (46,336%) dimana ion karbonat (CO_3^{2-}) menggantikan salah satu posisi ion fosfat (PO_4^{3-}) menjadi $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_3(\text{CO}_3)_3(\text{OH})_2$ pada hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), ini sesuai Dahlan *et al.* (2006); Prabakaran and Rajeswari (2006); Eslami *et al.* (2010) Huang *et al.* (2011); Boutinguiza *et al.* (2011); Venkatesan and Kim (2013).

Kandungan gugus fosfat (PO_4^{3-}) sampel perlakuan lama pengepresan 2,5 jam dengan lama perebusan 60 menit terbaca oleh pembacaan visual puncak spektra pada bilangan gelombang 1030,64 cm^{-1} merupakan $\text{V}_3\text{PO}_4^{3-}$, juga pada pembacaan bilangan gelombang 407,26 cm^{-1} $\text{V}_2\text{PO}_4^{3-}$, 560,82-601,88 cm^{-1} keduanya merupakan $\text{V}_4\text{PO}_4^{3-}$. Terbacanya gugus fosfat (PO_4^{3-}) dan terbentuknya kompleks fosfat (PO_4^{3-}) pada bilangan gelombang berkisar 1.000 cm^{-1} –1.100 cm^{-1} dengan pola vibrasi asimetri *stretching* 1031,13 cm^{-1} serta pada bilangan gelombang 407,26 cm^{-1} dengan pola vibrasi simetri *stretching* ($\text{V}_2\text{PO}_4^{3-}$) sementara 561,74-601,88 cm^{-1} dengan pola vibrasi $\text{V}_4\text{PO}_4^{3-}$ (vibrasi asimetri *bending*), ini mempunyai kesamaan pada penelitian Mondal *et al.* (2012).

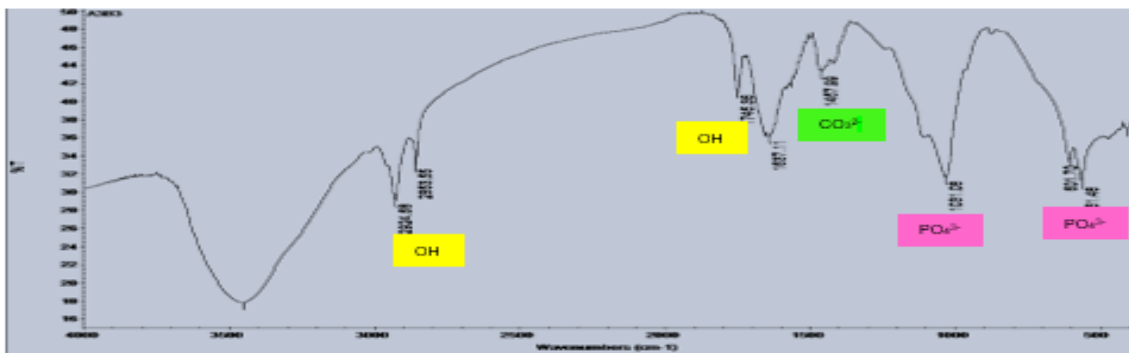


Gambar 9. Gugus fungsi kalsium fosfat tepung tulang ikan bandeng (*Chanos-chanos* Forsskal) dengan perlakuan lama pengepresan 2,5 jam uap air pada tekanan 1 atmosfer pada suhu 121 °C dengan lama perebusan 60 menit.

Pada Gambar 10, pada perlakuan lama pengepresan 2,5 jam dengan lama perebusan 90 menit dimana spektra pita absorpsi fosfat (PO_4^{3-}) berada pada frekuensi atau bilangan gelombang 406,99 cm^{-1} dengan intensitas 36,990% merupakan $\text{V}_2\text{PO}_4^{3-}$ (vibrasi simetri *bending*), 561,48(31,160%), 601,70(33,234%) keduanya merupakan $\text{V}_4\text{PO}_4^{3-}$ (vibrasi

asimetri *bending*), 1031,08 cm^{-1} (31,547%) merupakan pola $\text{V}_3\text{PO}_4^{3-}$ (vibrasi asimetri *stretching*).

Terdapat satu apatit karbonat, dimana tipe A (AKA) tidak ada, hanya ada satu apatit karbonat tipe B (AKB) yaitu 1457,99 cm^{-1} (43,204%) adalah senyawa $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_3(\text{CO}_3)_3(\text{OH})_2$ dimana ion karbonat (CO_3^{2-}) menggantikan posisi ion fosfat (PO_4^{3-}) pada hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), ini sesuai Dahlan *et al.* (2006); Prabakaran and Rajeswari (2006); Eslami *et al.* (2010); Boutinguiza *et al.* (2011); Huang *et al.* (2011); Venkatesan and Kim (2013)



Gambar 10. Gugus fungsi kalsium fosfat tepung tulang ikan bandeng (*Chanos-chanos* Forsskal) dengan perlakuan lama pengepresan 2,5 jam uap air pada tekanan 1 atmosfer pada suhu 121 °C dengan lama perebusan 90 menit.

Kandungan gugus fosfat (PO_4^{3-}) sampel perlakuan lama autoclaving 2,5 jam dengan lama perebusan 90 menit terbaca oleh pembacaan visual puncak spektra pada bilangan gelombang 1031,08 cm^{-1} merupakan $\text{V}_3(\text{PO}_4^{3-})$, juga pada pembacaan bilangan gelombang 406,99 cm^{-1} $\text{V}_2(\text{PO}_4^{3-})$, 561,48-601,70 cm^{-1} keduanya merupakan $\text{V}_4\text{PO}_4^{3-}$. Terbacanya gugus fosfat (PO_4^{3-}) dan terbentuknya kompleks fosfat (PO_4^{3-}) pada bilangan gelombang berkisar 1.000 cm^{-1} –1.100 cm^{-1} dengan pola vibrasi asimetri *stretching* 1031,08 cm^{-1} serta pada bilangan gelombang 406,99 cm^{-1} dengan pola vibrasi simetri *stretching* ($\text{V}_2\text{PO}_4^{3-}$) sementara 561,48-601,70 cm^{-1} dengan pola vibrasi $\text{V}_4\text{PO}_4^{3-}$ (vibrasi asimetri *bending*).

KESIMPULAN

Hasil analisis yang diperoleh perlakuan kombinasi lama pengepresan 2,5 jam dengan lama perebusan 3 kali (90 menit) yang terbaik dari perlakuan lain. Dimana gugus fungsi hanya terdapat satu apatit karbonat, CO_3^{2-} dimana tipe A (AKA) tidak ada, hanya

ada satu apatit karbonat tipe B (AKB) yaitu $1457,99 \text{ cm}^{-1}$ (43,2%). Kandungan gugus fosfat (PO_4^{3-}), diindikasikan oleh pembacaan visual puncak spektra terdeteksi pada bilangan gelombang $1031,08 \text{ cm}^{-1}$, juga pada pembacaan bilangan gelombang $406,99 - 601,70 \text{ cm}^{-1}$ dimana senyawa hidroksilapatit berbentuk kompleks dan kristalnya memiliki bentuk hexagonal dimana pada sudut $2\theta = 31,860^\circ$.

DAFTAR PUSTAKA

- Boutinguiza, M., Pou, J.R., Comesaña, F., Lusquiños, A., and de Carlos, B.L. 2012 Biological Hydroxyapatite Obtained from Fish Bones. *Materials Science and Engineering C*, 332, 478-486
- Eslami, H., Solati Hashhjin, M., Tahiri, F., Bakhshi, 2010. Synthesis and Characterization of Nanocrystalline Hydroxyapatite Obtained by the Wet Chemical Technique. *J. Material Science – Poland* 28(1), 5-13
- Huang S., Chen, J.C., Hsu, C.W., & Chang W.H., 2009. Effects of nanocalcium Carbonate and Nanocalcium Citrate on Toxicity in ICR mice and on Bone Mineral density in an Ovariectomized Mice Model. *Nanotechnology*, 20(37), 375102
- Huang Y.C., Hsiao P.C., Chai H.J., 2011. Hydroxyapatite extracted from fish scale: Effects on MG63 osteoblast-like cells. *Ceram Int* 37: 1825-1831. DOI: 10.1016/j.ceramint.2011.01.018.
- Kusumaningrum, I., Doddy, S., Bagus, F. P. 2016. Pemanfaatan Tulang Ikan Belida Sebagai Tepung Sumber Kalsium dengan Metode Alkali. *JPHPI*. Vol.19 No.2.
- Ksumastyaningrum, D. 2002. *Pengaruh Penambahan Antioksidan dan Aktivator untuk Mempertahankan Aktivitas Proteolitik Getah Pepaya Selama Penyimpanan*. [Skripsi]. Fakultas Teknologi Pertanian IPB: Bogor.
- Prabarakan K. and S. Rajeswari 2006. Development of hydroxyapatite from natural fish bone through heat treatment. *J. trends Biomaterials Artificial Organs*, 20(1):20-23
- Rans, (2002) *International seafood of Alaska (ISA). Analysis of Fish Meal*. Alaska: USA. Inc. Kodiak
- Trilaksani, W., Ella, S., Muhammad, N. 2006. Pemanfaatan Limbah Tulang Ikan Tuna (*Thunnus* sp.) Sebagai Sumber Kalsium dengan Metode Hidrolisis Protein. *Buletin Teknologi Hasil Perikanan* 9: 34-45.
- Venkatesan dan Kim (2010). J and S.K. Kim 2010. Effect of temperature on isolation and characterization on hydroxyapatite from tuna (*Thunnus obesus*) bone. *J Materials* 3:4761-4772