WHAT IS HYDROTHERMAL ?

Debby Firmantia Putri^{*1}, Helmi Maulina Ritonga², Vivin Murdiati² dan Rahadian Zainul²

¹Laboratorium Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Padang, Indonesia

²Laboratorium Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Padang, Indonesia

³Laboratorium Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Padang, Indonesia

⁴laboratorium Fisika Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Padang, Indonesia

*E-mail : helmimaulina56@gmail.com, vivinmurdiati@gmail.com,
firantiadebby@gmail.com, rahadianzmsiphd@yahoo.com

Abstrak. *Hydrothermal* merupakan suatu teknik pengkristalan dari temperatur tinggi pada keadaan campuran dan tekanan tinggi. Sintesis *hydrothermal* dapat juga didefinisikan metode yang menggunakan panas dan air. Pada praktiknya, metode ini melibatkan pemanasan reaktan dalam wadah tertutup (autoclave) menggunakan air. Dalam wadah tertutup, tekanan meningkat dan air tetap sebagai cairan. Ada beberapa metode *hydrothermal* yaitu reaksi *hydrothermal*, hidrolisis *hydrothermal*, metode elektrochemical *hydrothermal*, reactive elektrode submerged Arc, proses mechanocemical *hydrothermal*, proses *hydrothermal* microwave, metode sonochemical *hydrothermal*. Tujuan mereview ini untuk mengetahui kekurangan dan kelebihan dari metode *hidrotermal* pada pembentukan material.

Keyword : *hydrothermal, sintesis, kristal*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dalam bidang material telah mengalami perkembangan yang sangat pesat dalam beberapa tahun terakhir(5). Banyak metode yang digunakan untuk pembuatan material ini, salah satunya menggunakan metode *hydrothermal*(6-8). *Hydrothermal* terbentuk dari kata hidro yang berarti air dan thermal yang berarti panas(9-11). Jadi, metode *hydrothermal* adalah metode yang menggunakan air dan panas yang sifatnya mengubah larutan menjadi kristal(12-14). Metode *hydrothermal* harus dilakukan pada sistem tertutup untuk mencegah hilangnya pelarut saat dipanaskan diatas titik didihnya(15-17).

Berdasarkan tingkat keberhasilan dalam melakukan sintesis material ada beberapa metode, tetapi dalam proses pembentukan material ini menggunakan metode *hydrothermal*(18;

19). Metode *hydrothermal* dapat menghasilkan kristalinitas dan kemurnian yang lebih tinggi(9; 20; 21). Dalam beberapa penelitian metode *hydrothermal* dilakukan untuk meneliti suatu objek, yang dapat dilihat pada pengaruh jenis dan konsentrasi(22-24). Karena hal ini dapat mempengaruhi kristalinitas produk yang akan dihasilkan dari metode *hydrothermal* tersebut(25-27). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana proses pembentukan material dengan menggunakan metode *hydrothermal* (28; 29). Air karena gaya gravitasi selalu mempunyai kecenderungan untuk bergerak ke bawah, akan tetapi apabila air tersebut kontak dengan suatu sumber panas maka akan terjadi perpindahan panas sehingga temperatur air menjadi lebih tinggi dan air menjadi lebih ringan(30-37). Keadaan ini menyebabkan air yang lebih panas bergerak ke atas dan air yang lebih dingin bergerak turun ke bawah(38-43), sehingga terjadi sirkulasi air atau arus konveksi (44-46).

Mineral yang terbentuk di lingkungan *hydrothermal* adalah hasil presipitasi dari larutan air panas(47; 48). Pada pelepasan material lama dan pengendapan material baru menjadi ciri aktivitas *hydrothermal* (49-52),serta banyak mineral pembentuk proses yang melibatkan solusi, termasuk pelapukan dan diagenesa(18; 53). *Hydrothermal* merupakan suatu proses pembentukan mineral yang terjadi disekitar sumber dari panas bumi didalam kulit bumi yang terjadi akibat adanya injeksi dari magma terhadap air dengan kata lain terjadi pelarutan oleh magma sisa yang bercampur dengan air tanah sehingga mengalami pengkristalan(54-59).

Larutan *hydrothermal* adalah cairan bertemperatur tinggi (100 – 500°C) sisa pendinginan magma yang mampu merubah mineral yang telah ada sebelumnya dan membentuk mineral-mineral tertentu(1). Secara umum cairan sisa kristalisasi magma tersebut bersifat silika yang kaya alumina(60; 61), alkali dan alkali tanah yang mengandung air dan unsur-unsur volatil (Bateman, 1981) (62; 63). Magma *hidrous* atau *wet magma* atau gampangnya magma yang memiliki kandungan H₂O cukup banyak, sebenarnya kandungan H₂O dalam magma tersebut max adalah 6,2%, ketika magma mendingin dan mengkristal 3% dari H₂O tersebut ikut mengkristal menjadi bagian dari mineral, yaitu menjadi biotit dan hornblenda, lalu H₂O sisanya nya lepas dari magma dan membentuk larutan magmatik atau larutan *hydrothermal* (64-66). Jadi larutan *hydrothermal* terbentuk pada bagian akhir dari siklus pembekuan magma(67; 68).

Larutan *hydrothermal* terjadi dalam beberapa cara (121-122). Salah satunya peleburan magma yang terjadi oleh parsial basah yang mendingin dan mengkristal, air yang menyebabkan peleburan parsial basah dilepaskan(69-77). Namun tidak sebagai air murni (123), tetapi mengandung semua unsur yang dapat larut yang terdapat pada magma seperti NaCl dan unsur

kimia: emas, perak, tembaga, timbal, zinc, merkuri dan molybdenum, yang tidak terikat kuarsa, feldspar, dan mineral lain dengan substitusi ion(78; 79). Suhu yang tinggi meningkatkan efektifitas larutan yang sangat asin ini untuk membentuk endapan mineral *hydrothermal* (80; 81).

Proses *hydrothermal* merupakan proses pembentuk mineral yang terjadi oleh pengaruh temperatur dan tekanan yang sangat rendah, dan larutan magma yang terbentuk sebelumnya(82-85). Secara garis besar, endapan mineral *hydrothermal* dapat dibagi atas (117,118) :

1. Endapan hypothermal, ciri-cirinya adalah :
 - a. Tekanan dan temperatur pembekuan relatif tinggi (112).
 - b. Endapan berupa urat-urat dan korok yang berasosiasi dengan intrusi dengan kedalaman yang besar (113,114).
 - c. Asosiasi mineral berupa sulfides, misalnya Pyrite, Calcopryrite, Galena dan Spalerite serta oksida besi(86; 87).
 - d. Pada intrusi Granit sering berupa endapan logam Au, Pb, Sn, W dan Z (107,108).
2. Endapan mesotermal, yang ciri-cirinya (124) :
 - a. Tekanan dan temperatur yang berpengaruh lebih rendah daripada endapan hipotermal (109,110).
 - b. Endapannya berasosiasi dengan batuan beku asam-basa dan dekat dengan permukaan bumi (106).
 - c. Tekstur akibat “*cavity filling*” jelas terlihat, sekalipun sering mengalami proses penggantian antara lain berupa “*crustification*” dan “*banding*” (88).
 - d. Asosiasi mineralnya berupa sulfide, misalnya Au, Cu, Ag, Sb dan Oksida Sn (115,116).
 - e. Proses pengayaan sering terjadi, (89-95).
3. Endapan epitermal, ciri-cirinya sebagai berikut :
 - a. Tekanan dan temperatur yang berpengaruh paling rendah (105).
 - b. Tekstur penggantian tidak luas (jarang terjadi) (104).
 - c. Endapan bisa dekat atau pada permukaan bumi (119-120).
 - d. Kebanyakan teksturnya berlapis atau berupa (*fissure-vein*) (96; 97).
 - e. Struktur khas yang sering terjadi adalah “*cockade structure*” (111).
 - f. Asosiasi mineral logamnya berupa Au dan Ag dengan mineral “*gangue*”-nya berupa Kalsite dan Zeolit disamping Kuarsa(98).

Adapun bentuk-bentuk endapan mineral dapat dijumpai sebagai proses endapan *hydrothermal* adalah sebagai *Cavity filling*(99; 100). *Cavity filling* adalah proses mineralisasi berupa pengisian ruang-ruang bukaan (rongga) dalam batuan yang terdiri atas mineral-mineral yang diendapkan dari larutan pada bukaan-bukaan batuan(101; 102), yang zirconia berupa *Fissure-vein*, *Shear-zone deposits*, *Stockworks*, *Ladder-vein*, *Saddle-reefs*, *Tension crack filling*, *Brecia filling* (vulkanik, tektonik dan *collapse*), *Solution cavity filling* (*caves* dan *Channels*), *Gash-vein*, *Pore-space filling*, *Vessicular fillings*(60; 103).

2. METODE

Bagian 1 : Fishbone Metode Hidrotermal

Gambar 1. Autoclave dengan penutup flat plate : ini merupakan alat yang ditemukan oleh Autoclave engineers mereka membuat satu baris lengkap dari katup skala laboratorium , tabung , collars ,mencocokkan atas koneksi dsb, serta dapat digunakan untuk proses kimia lain(2)

Gambar 2. Reaksi vessel dengan penutup cold-cone seat (Tem-Press).: merupakan sumber terbaik atas penelitian kapal dari segala bentuk ,meliputi tabung penguji bom , dan gas alat penguat atas gas dikhususkan seperti argon, hidrogen, oksigen, amoniak dan sebagainya (2).

Gambar 3. Schematic of microprocessor-controlled RESA apparatus for fine powder Preparation: merupakan apparatus untuk memproduksi serbuk (2)

Keterangan :

- = Sintesis *Hydrothermal* terhadap Dolomit atau Kalsit pada temperatur rendah (200-300°C). (4)
- = Sintesis Kronium dioksida CrO_2 dipergunakan untuk audio tape. (3)
- = Sintesis *Hydrothermal* Bahan piezoelektrik (Keramik). (2)
- = Sintesis *Hydrothermal* Flim PZT atau PbTiO_3 (4)
- = Sintesis *Hydrothermal* terhadap karakteristik NanoKristal Zeolit dari Abu sekam padi. (1)
- = Sintesis *Hydrothermal* dengan menggunakan bantuan microwave

Bagian 2 : Roadmap Penggunaan Sintesis Hidrotermal

3. PEMBAHASAN

Sintesis *hydrothermal* termasuk salah satu teknik dari dari pengkristalan dari temperatur tinggi pada aqueous solutions pada tekanan tinggi. Terminologi *hydrothermal* berasal dari geologi. Para geokemist dan mineralogist telah mempelajari fase kesetimbangan dari *hydrothermal* sejak abad ini. George W Morey di Carnegie Institut dan kemudian Percy W Bridgman di Universitas Harvard telah berjasa besar meletakkan dasar yang diperlukan untuk dari media reaktif pada temperatur dan tekanan dimana sebagian besar kerja *hydrothermal* dikonduksikan. Sintesis *hydrothermal* dapat didefinisikan sebagai metode sintesis dari kristal tunggal yang tergantung pada kesolutan dari mineral pada air panas dibawah tekanan tinggi. Pertumbuhan kristal dibentuk dalam apparatus yang terdiri dari tekanan vessel baja yang disebut autoclave, yang mana nutrient dihasilkan terus bersama air. Gradien suhu ditentukan pada akhir kebalikan dari ruang pertumbuhan.

Prinsip teknik *hydrothermal* yaitu pemanasan reaktan dalam wadah tertutup dengan menggunakan medium air dimana sistem yang tertutup ini memungkinkan tekanan dan suhu yang meningkat dengan cepat. Sintesis *hydrothermal* secara umum dapat diartikan sebagai sintesis kristal atau pertumbuhan kristal pada temperatur dan tekanan tinggi. Sintesis *hydrothermal* dilakukan pada suhu dibawah 300°C. Sehingga memperoleh hasil kemurnian dan kristalinitas yang tinggi dengan hanya memanfaatkan mineral alam Indonesia yang berkualitas rendah sebagai bahan utama dalam metode *hydrothermal*.

Kelebihan dari teknik sintesis *hydrothermal* diantaranya adalah : (1) terbentuk *serbuk* secara langsung dari larutan, karena sudah dikaltanasi pada suhu tinggi (1100°C) selama 10 jam sehingga terjadinya serbuk dalam larutan secara langsung, (2) ukuran partikel dan bentuknya dapat dikontrol dengan menggunakan material awal dan kondisi *hydrothermal* yang berbeda, dan (3) kereaktifan bubuk yang dihasilkan tinggi, ini disebabkan oleh penggunaan suhu yang sangat tinggi (4) pada kondisi super-heated water, oksida logam yang tidak larut dalam air dapat menjadi larut. Atau bila temperatur dan tekanan tersebut belum mampu, maka dapat ditambahkan garam alkali atau logam yang anionnnnya dapat membentuk kompleks dengan padatan sehingga padatan menjadi larut.

Sedangkan kekurangan teknik ini adalah (1) Solubilitas tidak diketahui, sebab kemampuan suatu zat untuk dapat larut dalam suatu pelarut awal harus diketahui untuk mengatur temperatur dan tekanan supaya sampel yang digunakan dapat bercampur secara homogen , (2)

slurry *hydrothermal* bersifat korosif, dan (3) penggunaan bejana tekanan tinggi akan berbahaya jika terjadi kecelakaan (4) Membutuhkan temperatur tinggi (energi tinggi) (5) waktu reaksi sangat panjang., membutuhkan waktu lebih dari 24 jam (6) Produk tidak homogen dalam komposisi, ini disebabkan oleh kemampuan solubilitas awal material tidak diketahui. Dalam sintesis *hidrotermal* memiliki beberapa metode yaitu reactive elektrode submerged Arc, proses *mechanochemical hydrothermal*, proses *hydrothermal microwave*, metode *sonochemical hydrothermal*. Dan telah terdapat material yang terbentuk dari awal tahun 1953 sampai sekarang, kami memperkirakan pada tahun 2018 keatas sintesis *hidrotermal* yang digunakan terhadap karakteristik nanokristal Zeolit dari abu sekam padi dapat digunakan untuk menciptakan suatu material yang bermanfaat untuk kebutuhan konsumen.

4. KESIMPULAN

Sintesis *hydrothermal* merupakan suatu teknik pengkristalan dari temperatur tinggi pada keadaan campuran pada tekanan tinggi. Sintesis *hydrothermal* memiliki beberapa metode yang digunakan dalam proses pembentukan material. Selain itu sintesis *hydrothermal* memiliki kelebihan seperti, terbentuknya serbuk secara langsung, ukuran partikel dan bentuk partikel dapat dikontrol, kereaktifan serbuk yang dihasilkan tinggi. Dan kekurangan dari sintesis *hydrothermal* yaitu membutuhkan temperatur yang tinggi dan proses pembuatan material membutuhkan waktu reaksi yang sangat panjang.

5. SARAN

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Bapak Prof. Dr Rahardian M.Si yang telah membimbing kami dalam mata kuliah Kimia Material. Semoga review ini berguna dan bermanfaat bagi pembaca. Mohon maaf apabila ada kesalahan dan kekurangan dalam penulisan review ini.

Referensi

1. Mercier C, Lossouarn J, Nesbo CL, Haverkamp THA, Baudoux AC, et al. 2018. Two viruses, MCV1 and MCV2, which infect *Marinitoga* bacteria isolated from deep-sea hydrothermal vents: functional and genomic analysis. *Environmental microbiology* 20:577-87
2. A.Walujodjati. 2008. Sintesis Hidrotermal Dari Serbuk Oksida Keramik.
3. Trisunaryanti. 2006. Sintesis kromium dioksida.
4. Chicha Nureini Ry, Dwinna Rahmi. 2016. Sintesis Talk dari batuan dolomit dan kuarsa lokal serta krospeknya untuk industri kimia dan farmasi.
5. Chen J. 2018. Bio-oil production from hydrothermal liquefaction of *Pteris vittata* L.: Effects of operating temperatures and energy recovery. *Bioresource technology* 265:320-7
6. Nuchdang S, Frigon JC, Roy C, Pilon G, Phalakornkule C, Guiot SR. 2018. Hydrothermal post-treatment of digestate to maximize the methane yield from the anaerobic digestion of microalgae. *Waste management* 71:683-8
7. Ma SS, Xu P, Cai ZL, Li Q, Ye ZL, Zhou YM. 2018. Template-Assisted Hydrothermal Growth of One-Dimensional Zinc Oxide Nanowires for Photocatalytic Application. *Journal of nanoscience and nanotechnology* 18:5113-8
8. Ramaraj S, Mani S, Chen SM, Palanisamy S, Velusamy V, et al. 2018. Hydrothermal Synthesis of Cr₂Se₃ Hexagons for Sensitive and Low-level Detection of 4-Nitrophenol in Water. *Scientific reports* 8:4839
9. Piao M, Chu J, Wang X, Chi Y, Zhang H, et al. 2018. Hydrothermal synthesis of stable metallic 1T phase WS₂ nanosheets for thermoelectric application. *Nanotechnology* 29:025705
10. Wang W, Xu Y, Wang X, Zhang B, Tian W, Zhang J. 2018. Hydrothermal liquefaction of microalgae over transition metal supported TiO₂ catalyst. *Bioresource technology* 250:474-80
11. Wang C, Fan H, Ren X, Ma J, Fang J, Wang W. 2018. Hydrothermally Induced Oxygen Doping of Graphitic Carbon Nitride with a Highly Ordered Architecture and Enhanced Photocatalytic Activity. *ChemSusChem* 11:700-8
12. Noviyanti AR, Ismunandar, B. Prijamboedi, I.N. , Marsih. 2016. Hydrothermal Preparation of Apatite-Type Phases La_{9.33}Si₆O₂₆ and La₉M₁Si₆O_{26.5} (M= Ca, Sr, Ba). *ITB Journal of Science*. 44: 193-203.
13. Sun Y, Liu C, Zan Y, Miao G, Wang H, Kong L. 2018. Hydrothermal Carbonization of Microalgae (*Chlorococcum* sp.) for Porous Carbons With High Cr(VI) Adsorption Performance. *Applied biochemistry and biotechnology*
14. Jung KW, Lee SY, Lee YJ. 2018. Hydrothermal synthesis of hierarchically structured birnessite-type MnO₂/biochar composites for the adsorptive removal of Cu(II) from aqueous media. *Bioresource technology* 260:204-12
15. Zhu GT, Hu XL, He S, He XM, Zhu SK, Feng YQ. 2018. Hydrothermally tailor-made chitosan fiber for micro-solid phase extraction of petroleum acids in crude oils. *Journal of chromatography. A* 1564:42-50
16. Ou X, Lei S, Zhang X, Wan K, Wang Y, et al. 2018. Hydrothermal growth of ferrous hydroxide terephthalate as a new positive electrode material for supercapacitors. *Dalton transactions*
17. Han Y, Gonnella G, Adam N, Schippers A, Burkhardt L, et al. 2018. Hydrothermal chimneys host habitat-specific microbial communities: analogues for studying the possible impact of mining seafloor massive sulfide deposits. *Scientific reports* 8:10386

18. Lang Q, Guo Y, Zheng Q, Liu Z, Gai C. 2018. Co-hydrothermal carbonization of lignocellulosic biomass and swine manure: Hydrochar properties and heavy metal transformation behavior. *Bioresource technology* 266:242-8
19. Borthakur P, Das MR. 2018. Hydrothermal assisted decoration of NiS₂ and CoS nanoparticles on the reduced graphene oxide nanosheets for sunlight driven photocatalytic degradation of azo dye: Effect of background electrolyte and surface charge. *Journal of colloid and interface science* 516:342-54
20. Zarringhadam P, Farhadi S. 2018. Hydrothermal Synthesis of Novel Magnetic Plate-Like Bi₂O₂CO₃/CoFe₂O₄ Hybrid Nanostructures and Their Catalytic Performance for the Reduction of Some Aromatic Nitrocompounds. *Acta chimica Slovenica* 65:448-61
21. Fulle K, Sanjeewa LD, McMillen CD, Kolis JW. 2018. High temperature hydrothermal synthesis of rare-earth titanates: synthesis and structure of RE₅Ti₄O₁₅(OH) (RE = La, Er), Sm₃Ti₅O₁₅(OH)₃, RE₅Ti₂O₁₁(OH) (RE = Tm-Lu) and Ce₂Ti₄O₁₁. *Dalton transactions* 47:6754-62
22. R Zainul BO, I Dewata, J Efendi. 2018. Thermal and Surface Evaluation on The Process of Forming a Cu₂O/CuO Semiconductor Photocatalyst on a Thin Copper Plate. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 335:012039
23. Zhao R, Li Y, Li X, Li Y, Sun B, et al. 2018. Facile hydrothermal synthesis of branched polyethylenimine grafted electrospun polyacrylonitrile fiber membrane as a highly efficient and reusable bilirubin adsorbent in hemoperfusion. *Journal of colloid and interface science* 514:675-85
24. Sivalingam S, Sen S. 2018. Rapid ultrasound assisted hydrothermal synthesis of highly pure nanozeolite X from fly ash for efficient treatment of industrial effluent. *Chemosphere* 210:816-23
25. Gallina G, Alfageme ER, Biasi P, Garcia-Serna J. 2018. Hydrothermal extraction of hemicellulose: from lab to pilot scale. *Bioresource technology* 247:980-91
26. Gao X, Li Q, Qiu J. 2018. Hydrothermal modification and recycling of nonmetallic particles from waste print circuit boards. *Waste management* 74:427-34
27. Gremillard L, Chevalier J, Martin L, Douillard T, Begand S, et al. 2018. Sub-surface assessment of hydrothermal ageing in zirconia-containing femoral heads for hip joint applications. *Acta biomaterialia* 68:286-95
28. M Mawardi DD, R Zainul. 2018. Characterization of PCC Cement by Addition of Napa Soil from Subdistrict Sarilamak 50 Kota District as Alternative Additional Material for Semen Padang. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 335:012034
29. Gallifuoco A, Taglieri L, Scimia F, Papa AA, Di Giacomo G. 2018. Hydrothermal conversions of waste biomass: Assessment of kinetic models using liquid-phase electrical conductivity measurements. *Waste management* 77:586-92
30. Hsieh PH, Tsai CE, Chang BC, Lii KH. 2018. High-Temperature, High-Pressure Hydrothermal Synthesis and Characterization of an Acentric Borate Fluoride: Ba₂B₅O₉F.0.5H₂O. *Inorganic chemistry* 57:7239-43
31. Hu X, Xu P, Gong H, Yin G. 2018. Synthesis and Characterization of WO₃/Graphene Nanocomposites for Enhanced Photocatalytic Activities by One-Step In-Situ Hydrothermal Reaction. *Materials* 11
32. Huang G, Kang W, Geng Q, Xing B, Liu Q, et al. 2018. One-Step Green Hydrothermal Synthesis of Few-Layer Graphene Oxide from Humic Acid. *Nanomaterials* 8
33. Hui M, Cheng J, Sha Z. 2018. First comprehensive analysis of lysine acetylation in *Alvinocaris longirostris* from the deep-sea hydrothermal vents. *BMC genomics* 19:352

34. Humphris SE, Klein F. 2018. Progress in Deciphering the Controls on the Geochemistry of Fluids in Seafloor Hydrothermal Systems. *Annual review of marine science* 10:315-43
35. Huong PTL, Son TV, Phan VN, Tam LT, Le AT. 2018. Microstructure and Chemo-Physical Characterizations of Functional Graphene Oxide-Iron Oxide-Silver Ternary Nanocomposite Synthesized by One-Pot Hydrothermal Method. *Journal of nanoscience and nanotechnology* 18:5591-9
36. Huynh TT, Van Nguyen A, Pham HQ, Vinh NH, Bach LG, Thanh Ho VT. 2018. One-Step Hydrothermal Synthesis of a New Nanostructure $\text{Ti}_{0.7}\text{Ir}_{0.3}\text{O}_2$ for Enhanced Electrical Conductivity: The Effect of pH on the Formation of Nanostructure. *Journal of nanoscience and nanotechnology* 18:6928-33
37. Hwang H, Lee JH, Choi IG, Choi JW. 2018. Comprehensive characterization of hydrothermal liquefaction products obtained from woody biomass under various alkali catalyst concentrations. *Environmental technology*:1-11
38. Kanie K, Sakaguchi M, Muto F, Horie M, Nakaya M, et al. 2018. Mechanochemically assisted hydrothermal synthesis of Sn-substituted MFI-type silicates. *Science and technology of advanced materials* 19:545-53
39. Kiriukhina GV, Yakubovich OV, Kochetkova EM, Dimitrova OV, Volkov AS. 2018. A first Mn member in the struvite morphotropic series, $\text{CsMn}(\text{H}_2\text{O})_6(\text{PO}_4)$: hydrothermal synthesis, crystal structure and interconnections within the family of related phosphates. *Acta crystallographica. Section C, Structural chemistry* 74:936-43
40. Koltsov I, Smalc-Koziorowska J, Przesniak-Welenc M, Malysa M, Kimmel G, et al. 2018. Mechanism of Reduced Sintering Temperature of $\text{Al}_2\text{O}_3(-)\text{ZrO}_2$ Nanocomposites Obtained by Microwave Hydrothermal Synthesis. *Materials* 11
41. Kots PA, Zabilska AV, Khramov EV, Grigoriev YV, Zubavichus YV, Ivanova, II. 2018. Mechanism of Zr Incorporation in the Course of Hydrothermal Synthesis of Zeolite BEA. *Inorganic chemistry*
42. Kshetri YK, Regmi C, Kim HS, Lee SW, Kim TH. 2018. Microwave hydrothermal synthesis and upconversion properties of $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ doped YVO_4 nanoparticles. *Nanotechnology* 29:204004
43. Lan K, Liu Y, Zhang W, Liu Y, Elzatahry A, et al. 2018. Uniform Ordered Two-Dimensional Mesoporous TiO_2 Nanosheets from Hydrothermal-Induced Solvent-Confined Monomicelle Assembly. *Journal of the American Chemical Society* 140:4135-43
44. Inaba S. 2018. Primary Formation Path of Formaldehyde in Hydrothermal Vents. *Origins of life and evolution of the biosphere : the journal of the International Society for the Study of the Origin of Life* 48:1-22
45. Ji S, Miao C, Liu H, Feng L, Yang X, Guo H. 2018. A Hydrothermal Synthesis of $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{C}$ Hybrid Nanoparticle and Magnetic Adsorptive Performance to Remove Heavy Metal Ions in Aqueous Solution. *Nanoscale research letters* 13:178
46. Jiao Y, Wan C, Bao W, Gao H, Liang D, Li J. 2018. Facile hydrothermal synthesis of $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{cellulose}$ aerogel nanocomposite and its application in Fenton-like degradation of Rhodamine B. *Carbohydrate polymers* 189:371-8
47. Jin QW, Hu YH, Sun L. 2018. *Alteromonas oceani* sp. nov., isolated from deep-sea sediment of a hydrothermal field. *International journal of systematic and evolutionary microbiology* 68:657-62
48. Jin QW, Sun QL, Zhang J, Sun L. 2018. First characterization of two C-type lectins of the tubeworm *Alaysia* sp. from a deep-sea hydrothermal vent. *Developmental and comparative immunology* 86:17-25

49. Jorquera MA, Gabler S, Inostroza NG, Acuna JJ, Campos MA, et al. 2018. Screening and Characterization of Phytases from Bacteria Isolated from Chilean Hydrothermal Environments. *Microbial ecology* 75:387-99
50. Jung KW, Lee SY, Lee YJ. 2018. Facile one-pot hydrothermal synthesis of cubic spinel-type manganese ferrite/biochar composites for environmental remediation of heavy metals from aqueous solutions. *Bioresource technology* 261:1-9
51. Lekphet W, Ho SY, Su C, Sireesha P, Kathirvel S, et al. 2018. Effect of Ammonium Salts on the Hydrothermal Synthesis of TiO(2) Nanocubes for Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal of nanoscience and nanotechnology* 18:967-75
52. Lemmens E, De Brier N, Spiers KM, Ryan C, Garrevoet J, et al. 2018. The impact of steeping, germination and hydrothermal processing of wheat (*Triticum aestivum* L.) grains on phytate hydrolysis and the distribution, speciation and bio-accessibility of iron and zinc elements. *Food chemistry* 264:367-76
53. Liu W, Yan Z, Ma X, Geng T, Wu H, Li Z. 2018. Mg-MOF-74/MgF(2) Composite Coating for Improving the Properties of Magnesium Alloy Implants: Hydrophilicity and Corrosion Resistance. *Materials* 11
54. Ma Q, Han L, Huang G. 2018. Effect of water-washing of wheat straw and hydrothermal temperature on its hydrochar evolution and combustion properties. *Bioresource technology* 269:96-103
55. Machon J, Lucas P, Ravaux J, Zbinden M. 2018. Comparison of Chemoreceptive Abilities of the Hydrothermal Shrimp *Mirocaris fortunata* and the Coastal Shrimp *Palaemon elegans*. *Chemical senses* 43:489-501
56. Maghsodi A, Adlnasab L, Shabani M, Javanbakht M. 2018. Optimization of effective parameters in the synthesis of nanopore anodic aluminum oxide membrane and arsenic removal by prepared magnetic iron oxide nanoparticles in anodic aluminum oxide membrane via ultrasonic-hydrothermal method. *Ultrasonics sonochemistry* 48:441-52
57. Mao H, Chen X, Huang R, Chen M, Yang R, et al. 2018. Fast preparation of carbon spheres from enzymatic hydrolysis lignin: Effects of hydrothermal carbonization conditions. *Scientific reports* 8:9501
58. Matharu AS, de Melo EM, Remon J, Wang S, Abdulina A, Kontturi E. 2018. Processing of Citrus Nanostructured Cellulose: A Rigorous Design-of-Experiment Study of the Hydrothermal Microwave-Assisted Selective Scissoring Process. *ChemSusChem* 11:1344-53
59. McGaughy K, Reza MT. 2018. Recovery of Macro and Micro-Nutrients by Hydrothermal Carbonization of Septage. *Journal of agricultural and food chemistry* 66:1854-62
60. Nath S, Biswas A, Kour PP, Sarma LS, Sur UK, Ankamwar BG. 2018. Synthesis of Mesoporous Nanocrystalline Zirconia by Surfactant-Assisted Hydrothermal Approach. *Journal of nanoscience and nanotechnology* 18:5390-6
61. Nie Y, Bi X. 2018. Life-cycle assessment of transportation biofuels from hydrothermal liquefaction of forest residues in British Columbia. *Biotechnology for biofuels* 11:23
62. Nizamuddin S, Siddiqui MTH, Baloch HA, Mubarak NM, Griffin G, et al. 2018. Upgradation of chemical, fuel, thermal, and structural properties of rice husk through microwave-assisted hydrothermal carbonization. *Environmental science and pollution research international* 25:17529-39
63. Ogino T, Maegawa S, Shigeno S, Fujikura K, Toyohara H. 2018. Highly sensitive avoidance plays a key role in sensory adaptation to deep-sea hydrothermal vent environments. *PloS one* 13:e0189902

64. Ojo MA. 2018. Changes in Some Antinutritional Components and In Vitro Multienzymes Protein Digestibility during Hydrothermal Processing of *Cassia hirsutta*. *Preventive nutrition and food science* 23:152-9
65. Omar BM, Bitu M, Louafi I, Djouadi A. 2018. Esterification process catalyzed by ZSM-5 zeolite synthesized via modified hydrothermal method. *MethodsX* 5:277-82
66. Pace KA, Kocovski V, Karakalos SG, Morrison G, Besmann T, Zur Loye HC. 2018. $\text{Na}_2(\text{UO}_2)(\text{BO}_3)$: An All-Uranium(V) Borate Synthesized under Mild Hydrothermal Conditions. *Inorganic chemistry* 57:4244-7
67. Park KY, Lee K, Kim D. 2018. Characterized hydrochar of algal biomass for producing solid fuel through hydrothermal carbonization. *Bioresource technology* 258:119-24
68. Peng CC, Liu HK, Lii KH. 2018. High-Temperature, High-Pressure Hydrothermal Synthesis, Crystal Structure, Thermal Stability, and Solid State NMR Spectroscopy of an Aluminum Borate, $\text{Ba}[\text{AlB}_4\text{O}_8(\text{OH})]$. *Inorganic chemistry* 57:1545-9
69. Perez A, Blazquez G, Ianez-Rodriguez I, Osegueda O, Calero M. 2018. Optimization of the sugar hydrothermal extraction process from olive cake using neuro-fuzzy models. *Bioresource technology* 268:81-90
70. Piecyk M, Druzynska B, Oltarzewska A, Wolosiak R, Worobiej E, Ostrowska-Ligeza E. 2018. Effect of hydrothermal modifications on properties and digestibility of grass pea starch. *International journal of biological macromolecules* 118:2113-20
71. Pillot G, Frouin E, Pasero E, Godfroy A, Combet-Blanc Y, et al. 2018. Specific enrichment of hyperthermophilic electroactive Archaea from deep-sea hydrothermal vent on electrically conductive support. *Bioresource technology* 259:304-11
72. Pramanik P, Chakrabarti B, Bhatia A, Singh SD, Maity A, et al. 2018. Effect of elevated temperature on soil hydrothermal regimes and growth of wheat crop. *Environmental monitoring and assessment* 190:217
73. Qian F, Zhu X, Liu Y, Shi Q, Wu L, et al. 2018. Influences of Temperature and Metal on Subcritical Hydrothermal Liquefaction of Hyperaccumulator: Implications for the Recycling of Hazardous Hyperaccumulators. *Environmental science & technology* 52:2225-34
74. Ranganathan P, Savithri S. 2018. Computational Fluid Dynamics simulation of hydrothermal liquefaction of microalgae in a continuous plug-flow reactor. *Bioresource technology* 258:151-7
75. Rao U, Posmanik R, Hatch LE, Tester JW, Walker SL, et al. 2018. Coupling hydrothermal liquefaction and membrane distillation to treat anaerobic digestate from food and dairy farm waste. *Bioresource technology* 267:408-15
76. Reith L, Lienau K, Cook DS, More R, Walton RI, Patzke GR. 2018. Monitoring the Hydrothermal Growth of Cobalt Spinel Water Oxidation Catalysts: From Preparative History to Catalytic Activity. *Chemistry*
77. Salinas-de-Leon P, Phillips B, Ebert D, Shivji M, Cerutti-Pereyra F, et al. 2018. Deep-sea hydrothermal vents as natural egg-case incubators at the Galapagos Rift. *Scientific reports* 8:1788
78. Saqib NU, Baroutian S, Sarmah AK. 2018. Physicochemical, structural and combustion characterization of food waste hydrochar obtained by hydrothermal carbonization. *Bioresource technology* 266:357-63
79. Scholz D, Krocher O, Vogel F. 2018. Deactivation and Regeneration of Sulfonated Carbon Catalysts in Hydrothermal Reaction Environments. *ChemSusChem* 11:2189-201
80. Schouw A, Vulcano F, Roalkvam I, Hocking WP, Reeves E, et al. 2018. Genome Analysis of *Vallitalea guaymasensis* Strain L81 Isolated from a Deep-Sea Hydrothermal Vent System. *Microorganisms* 6

81. Shakya R, Adhikari S, Mahadevan R, Hassan EB, Dempster TA. 2018. Catalytic upgrading of bio-oil produced from hydrothermal liquefaction of *Nannochloropsis* sp. *Bioresource technology* 252:28-36
82. Si B, Li J, Zhu Z, Shen M, Lu J, et al. 2018. Inhibitors degradation and microbial response during continuous anaerobic conversion of hydrothermal liquefaction wastewater. *The Science of the total environment* 630:1124-32
83. Storesund JE, Lanzen A, Garcia-Moyano A, Reysenbach AL, Ovreas L. 2018. Diversity patterns and isolation of Planctomycetes associated with metalliferous deposits from hydrothermal vent fields along the Valu Fa Ridge (SW Pacific). *Antonie van Leeuwenhoek* 111:841-58
84. Tan J, Jin X. 2018. Monodisperse, colloidal and luminescent calcium fluoride nanoparticles via a citrate-assisted hydrothermal route. *Journal of colloid and interface science* 531:444-50
85. Tang K, Zhang Y, Lin D, Han Y, Chen CA, et al. 2018. Cultivation-Independent and Cultivation-Dependent Analysis of Microbes in the Shallow-Sea Hydrothermal System Off Kueishantao Island, Taiwan: Unmasking Heterotrophic Bacterial Diversity and Functional Capacity. *Frontiers in microbiology* 9:279
86. Urrea JL, Garcia M, Collado S, Oulego P, Diaz M. 2018. Sludge hydrothermal treatments. Oxidising atmosphere effects on biopolymers and physical properties. *Journal of environmental management* 206:284-90
87. Van Cleve T, Underhill D, Veiga Rodrigues M, Sievers C, Medlin JW. 2018. Enhanced Hydrothermal Stability of gamma-Al₂O₃ Catalyst Supports with Alkyl Phosphonate Coatings. *Langmuir : the ACS journal of surfaces and colloids* 34:3619-25
88. Vasudevan V, Thangavel S, Nallamuthu G, Kirubakaran K, Ramasubramanian PA, Venugopal G. 2018. Enhanced Photocatalytic Properties of Nanostructured WO₃ Semiconductor-Photocatalyst Prepared via Hydrothermal Method. *Journal of nanoscience and nanotechnology* 18:3320-8
89. Vlaskin MS, Grigorenko AV, Kostyukevich YI, Nikolaev EN, Vladimirov GN, et al. 2018. Influence of solvent on the yield and chemical composition of liquid products of hydrothermal liquefaction of *Arthrospira platensis* as revealed by Fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry. *European journal of mass spectrometry*:1469066718771209
90. Wang G, Guo Q, Chen D, Liu Z, Zheng X, et al. 2018. Facile and Highly Effective Synthesis of Controllable Lattice Sulfur-Doped Graphene Quantum Dots via Hydrothermal Treatment of Durian. *ACS applied materials & interfaces* 10:5750-9
91. Westall F, Hickman-Lewis K, Hinman N, Gautret P, Campbell KA, et al. 2018. A Hydrothermal-Sedimentary Context for the Origin of Life. *Astrobiology* 18:259-93
92. Wu J, Collins SRA, Elliston A, Wellner N, Dicks J, et al. 2018. Release of cell wall phenolic esters during hydrothermal pretreatment of rice husk and rice straw. *Biotechnology for biofuels* 11:162
93. Xing LL, Zhao GG, Huang KJ, Wu X. 2018. A yolk-shell V₂O₅ structure assembled from ultrathin nanosheets and coralline-shaped carbon as advanced electrodes for a high-performance asymmetric supercapacitor. *Dalton transactions* 47:2256-65
94. Xu X, Tu R, Sun Y, Li Z, Jiang E. 2018. Influence of biomass pretreatment on upgrading of bio-oil: Comparison of dry and hydrothermal torrefaction. *Bioresource technology* 262:261-70
95. Yadav BR, Garg A. 2018. Hetero-catalytic hydrothermal oxidation of simulated pulping effluent: Effect of operating parameters and catalyst stability. *Chemosphere* 191:128-35

96. Yang X, Wu L, Xu Y, Ke C, Hu F, et al. 2018. Identification and characterization of a novel alkalistable and salt-tolerant esterase from the deep-sea hydrothermal vent of the East Pacific Rise. *MicrobiologyOpen*
97. Zhai Y, Wang T, Zhu Y, Peng C, Wang B, et al. 2018. Production of fuel pellets via hydrothermal carbonization of food waste using molasses as a binder. *Waste management* 77:185-94
98. Yuan Y, Xu X, Jing C, Zou P, Zhang C, Li Y. 2018. Microwave assisted hydrothermal extraction of polysaccharides from *Ulva prolifera*: Functional properties and bioactivities. *Carbohydrate polymers* 181:902-10
99. Zhu Z, Rosendahl L, Toor SS, Chen G. 2018. Optimizing the conditions for hydrothermal liquefaction of barley straw for bio-crude oil production using response surface methodology. *The Science of the total environment* 630:560-9
100. Zykwiniska A, Berre LT, Sinquin C, Ropartz D, Rogniaux H, et al. 2018. Enzymatic depolymerization of the GY785 exopolysaccharide produced by the deep-sea hydrothermal bacterium *Alteromonas infernus*: Structural study and enzyme activity assessment. *Carbohydrate polymers* 188:101-7
101. Zhuang X, Zhan H, Huang Y, Song Y, Yin X, Wu C. 2018. Conversion of industrial biowastes to clean solid fuels via hydrothermal carbonization (HTC): Upgrading mechanism in relation to coalification process and combustion behavior. *Bioresource technology* 267:17-29
102. Moller MH, Glombitza C, Lever MA, Deng L, Morono Y, et al. 2018. D:L-Amino Acid Modeling Reveals Fast Microbial Turnover of Days to Months in the Subsurface Hydrothermal Sediment of Guaymas Basin. *Frontiers in microbiology* 9:967
103. Suzuki K, Yoshida K, Watanabe H, Yamamoto H. 2018. Mapping the resilience of chemosynthetic communities in hydrothermal vent fields. *Scientific reports* 8:9364
104. Zainul, Rahadian [et.al] (2015) *Design of Photovoltaic Cell with Copper Oxide Electrode by Using Indoor Lights*. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, 6 (4). pp. 353-361. ISSN 0975-8585
105. M., Yani, S. R., & Zainul, R. (2017, September 4). Aktivasi Tanah Napa dan Pengaruhnya Terhadap Adsorpsi Ion Timbal (II)/ Pb²⁺. <https://doi.org/10.31227/osf.io/ps523>
106. Zainul, R., Oktavia, B., Dewata, I., & efendi, j. (2017, February 4). Studi Dinamika Molekular dan Kinetika Reaksi pada Pembelahan Molekul Air untuk Produksi Gas Hidrogen. <https://doi.org/10.31227/osf.io/876s3>
107. Zainul, R., & Dewata, I. (2015, December 29). Determination of pH-BOD-COD and degradation in batang arau watersheds at Padang city. <https://doi.org/10.31227/osf.io/efdzi>
108. Zainul, R. (2016, September 24). Determination of the half-life and the quantum yield of ZnO semiconductor photocatalyst in humic acid. <https://doi.org/10.31227/osf.io/e8a9x>
109. Zainul, R. (2016, December 18). Design and Modification of Copper Oxide Electrodes for Improving Conversion Coefficient Indoors Lights (PV-Cell) Photocells. <https://doi.org/10.31227/osf.io/pgn84>
110. Zainul, R. (2016, November 19). Effect of Temperature and Particle Motion against the ability of ZnO Semiconductor Photocatalyst in Humic Acid. <https://doi.org/10.31227/osf.io/wnygb>
111. Zainul, R., Alif, A., Aziz, H., Arief, S., & s. (2015, October 22). Photoelectrospitting Water Mechanism at Carbon Electrode Surface using Indoor lights. <https://doi.org/10.31227/osf.io/vcxq8>

- 112 H., Sanjaya, H., & Zainul, R. (2016, August 30). Synthesis and Electrical Properties of ZnO-ITO and Al-ITO thin Film by Spin Coating Technique Through Sol Gel Process. <https://doi.org/10.31227/osf.io/unrt4>
- 113 Anhar, A., Sumarmin, R., & Zainul, R. (2016, August 30). Measurement of Glycemic Index of West Sumatera Local Rice Genotypes for Healthy Food Selection. <https://doi.org/10.31227/osf.io/tgy8h>
- 114 M., Sanjaya, H., & Zainul, R. (2015, December 30). Characterization of napa soil and adsorption of Pb (II) from aqueous solutions using on column method. <https://doi.org/10.31227/osf.io/t8fh9>
- 115 Chaidir, Z., Fadjria, N., A., & Zainul, R. (2016, December 5). Isolation And Molecular Identification Of Freshwater Microalgae In Maninjau Lake West Sumatera. <https://doi.org/10.31227/osf.io/nbcuf>
- 116 Chaidir, Z., Zainul, R., Nurakhbari, D., & Salim, M. (2016, September 24). Optimization of Spirulina Platensis Culture for Antioxidant Production. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/FD6E4>
- 117 Zainul, R., Oktavia, B., Dewata, I., Efendi, J. Thermal and Surface Evaluation on The Process of Forming a Cu₂O/CuO Semiconductor Photocatalyst on a Thin Copper Plate. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/335/1/0120349>
- 119 Zainul, R., Alif, A., Aziz, H., Arief, S., & Yasthopi, A. (2015). Photoelectrosplicing Water for Hydrogen Production Using Illumination of Indoor Lights. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7 (9S) : 246-256. ISSN : 0975-7384
- 120 Rahadian Zainul AA, Hermansyah Aziz, Syukri Arief, Syukri Darajat. 2015. Disain Geometri Reaktor Fotosel Cahaya Ruang. *Jurnal Riset Kimia* 8:131
- 121 Rahadian Zainul AA, Hermansyah Aziz, Syukri Arief, Syukri Darajat. 2015. Modifikasi dan Karakteristik I-V Sel Fotovoltaik Cu₂O/Cu-Gel Na₂SO₄ Melalui Illuminasi Lampu Neon. *EKSAKTA Berkala Ilmiah Bidang MIPA* 2:50
- 122 Zainul R. 2015. Disain dan Modifikasi Kolektor dan Reflektor Cahaya pada Panel Sel Surya Al/Cu₂O-Gel Na₂SO₄. *Research Report*
- 123 Zainul, Rahadian [et.al] (2015) *Study of Pb(II) Biosorption from Aqueous Solution Using Immobilized Spirogyra Subsalsa Biomass*. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 11 (7). pp. 715-722. ISSN 0975-7384
- 124 Kurniawati, D., Lestari, I., Harmiwati., Sy, S., Chaidir, Z., Munaf, E., Zein, R., Aziz, H., & Zainul, R. (2015). Biosorption of Pb (II) from Aqueous Solutions Using Column Method by Lengken (Euphoria Loogan Lour) Seed and Shell. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7(12) : 872-877. ISSN : 0975-7384
125. Liza, Y. M., Yasin, R. C., Maidani, S. S., & Zainul, R. (2018, October 9). SOL GEL : PRINCIPLE AND TECHNIQUE (A REVIEW). Retrieved from osf.io/dnp8r
126. Febriani, S. S., Yolanda, T., Arianti, V. A., & Zainul, R. (2018, October 12). A Review Solid Stated : Principles and Methode. Retrieved from osf.io/b9qzv
127. P, Oki M, Laura G A, Apri Y M S, and Rahadian Zainul. 2018. "A Review Grinding : Teknik Dan Prinsip Dasar Pada Pengolahan Material." OSF. October 12. doi:10.17605/OSF.IO/4RY96.
128. Dinata, Agil A, Abel M Rosyadi, Syukri Hamid, and Rahadian Zainul. 2018. "A Review CHEMICAL VAPOR DEPOSITION : PROCESS AND APPLICATION." OSF. October 15. doi:10.17605/OSF.IO/4X63F.