

## Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Hidroksi Sodalit dari Limbah Padat Abu Layang PLTU Batubara (*The Synthesis and Characterization of Hydroxyl Sodalite Zeolite from Coal Fly Ash*)

Amalia Ekaputri Hidayat<sup>1</sup>, Setyo Sarwanto Moersidik<sup>2</sup>, dan RM Sandyanto Adityosulindro<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Lingkungan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

Kampus UI Depok, 16424, Indonesia

Email: [amalia.ekaputri@gmail.com](mailto:amalia.ekaputri@gmail.com) ; [ssarwanto@eng.ui.ac.id](mailto:ssarwanto@eng.ui.ac.id) ; [rm.sandy.ui@gmail.com](mailto:rm.sandy.ui@gmail.com)

### ABSTRAK

Proses yang terjadi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap untuk menghasilkan energi listrik adalah melalui unit proses pembakaran batubara. Proses ini akan menghasilkan limbah padat, cair, maupun udara. Salah satu limbah padat yang dihasilkan adalah abu layang. Limbah abu layang ini dikategorikan limbah bahan berbahaya dan beracun, serta dapat terjadinya penumpukan di tempat penimbunan akhir karena produksinya yang sangat tinggi. Namun, abu layang memiliki potensi sebagai bahan baku dalam memproduksi zeolit sintetik karena kandungan oksida logamnya yang cukup tinggi. Pada penelitian ini, abu layang batu bara kelas F disintesis dengan metode gabungan fusi-hidrotermal. Abu layang dan zeolit yang disintesis dikarakterisasi agar dapat dianalisis komposisi kimianya dengan *X-ray Fluorescence*; mineraloginya dengan *X-ray Diffraction*; morfologi permukaan dengan *Scanning Electron Microscopy*; serta distribusi partikel dengan *Particle Size Analyzer*. Proses sintesis zeolit dari abu layang batubara pada penelitian ini menghasilkan zeolit jenis hidroksi sodalit. Selain itu, proses sintesis ini meningkatkan luas permukaan dari abu layang sebelumnya. Dari karakteristik zeolit hasil sintesis ini dapat disimpulkan bahwa zeolit ini dapat berpotensi sebagai adsorben untuk penyisihan polutan cair maupun gas pada aplikasi teknologi lingkungan dengan penelitian lebih lanjut.

**Kata kunci :** abu layang; zeolite; hidroksi-sodalit; sintesis; fusi-hidrotermal

### ABSTRACT

*Coal burning process in steam powered electric generator plants functioned to generate electricity energy. This process produce kinds of waste, such as solid waste, waste water, and emission. One of the solid waste produced in this process is fly ash. Fly ash is categorized as hazardous waste, it also can buildup in the landfill because of its massive production. However, fly ash has the potential as a raw material to produce synthetic zeolite because it contains metal oxide which is quite high. In this study, class F coal fly ash was synthesized by combining hydrothermal and fusion method. Synthesized fly ash and zeolite are characterized so that the chemical composition can be analyzed by X-ray Fluorescence; the mineralogy analyzed by X-ray Diffraction; the surface morphology analyzed by Scanning Electron Microscopy; and the particle size analyzed by Particle Size Analyzer. The synthesis of zeolite from coal fly ash in this study result hydroxyl sodalite zeolite type. In addition, this synthesis process increases the surface area of the previous fly ash. From the characteristics of zeolite from this synthesis it can be conclude that this zeolite can be approved as an adsorbent for the removal of liquid or gas pollutants in environmental technology applications with further research.*

**Keywords :** fly ash; zeolite; hydroxyl sodalite; synthesis; fusion-hydrothermal

---

**Cara Mengutip :** Hidayat, A., Moersidik, S. S., Adityosulindro, S. (2019). Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Hidroksi Sodalit dari Limbah Padat Abu Layang PLTU Batubara. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 4 (2), 85-91. <http://dx.doi.org/10.33366/rekabuana.v4i2.1307>

---

## 1. PENDAHULUAN

Salah satu industri yang menghasilkan abu layang dalam jumlah melimpah adalah industri pembangkit energi listrik tenaga batu bara. Batu bara yang diperoleh dari kegiatan pertambangan umumnya didistribusikan kepada pembangkit listrik mulut tambang yang lokasinya cukup berdekatan. Pemanfaatan batu bara sebagai sumber energi dinilai relatif ekonomis sampai saat ini [1], namun kegiatan ini berpotensi dan beresiko dalam timbulnya masalah lingkungan baru disekitar lokasi tambang maupun PLTU. Proses pembakaran batubara pada PLTU akan menghasilkan produk sampingan berupa residu dalam bentuk gas dan padatan. Residu padatan ini antara lain terdiri dari 80% abu layang (*fly ash*) dan 20% abu dasar (*bottom ash*). Meskipun persentase limbah abu layang lebih besar dibandingkan abu dasar, pemanfaatan abu layang hanya mencapai 20% dari total abu yang dihasilkan. Pemanfaatan abu layang diantaranya adalah sebagai bahan campuran semen, komponen utama geopolimer, bahan campuran beton, bahan campuran plastik, dan sebagainya [2]. Oleh karena itu, hingga saat ini, pengembangan-pengembangan terkait pemanfaatan limbah abu layang ini sangat gempar ditingkatkan.

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, limbah abu layang dan abu bawah ini dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun. Pengelolaan abu batu bara di penampungan akhir pada jangka panjang dapat berdampak pada terbatasnya ketersediaan kapasitas *landfill* dan risiko *leaching* kandungan logam yang dapat mengkontaminasi tanah dan air

[3]. Hal inilah yang menjadi alasan utama perlu dilakukan pengembangan dalam menangani dan memanfaatkan limbah abu tersebut. Tingginya kandungan oksida logam ( $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dalam abu layang, menjadikan limbah ini berpotensi dikembangkan sebagai zeolit sehingga dapat dimanfaatkan menjadi alternatif adsorben dengan harga yang lebih ekonomis [4]. Pada penelitian ini, dilakukan pengembangan pemanfaatan limbah abu layang sebagai bahan baku zeolit sintetis.

Secara umum zeolit terbagi menjadi dua, yaitu zeolit alam dan zeolit buatan atau sintetis. Zeolit alam terbentuk dari terjadinya proses kompleks kimia dan fisika pada batuan-batuan yang mengalami berbagai perubahan di alam secara alami. Komposisi dari zeolit alam dapat bervariasi, namun yang menjadi komponen utamanya adalah silika dan alumina. Disamping kedua komponen utama tersebut, zeolit mengandung unsur minor seperti, Na, K, Ca, Mg, dan Fe [5]. Zeolit alam memiliki keunggulan karena harganya yang murah, mudah didapatkan, dan memiliki aplikasi yang luas. Terlepas dari hal-hal tersebut, zeolit memiliki kelemahan, diantaranya masih mengandung banyak komponen pengotor. Keberadaan pengotor ini dapat berdampak pada aktivitas zeolit yang kurang baik. Salah satu solusi dalam meningkatkan efektifitas zeolit alam adalah melalui aktivasi dan modifikasi zeolit [6].

Sedangkan zeolit sintetis, berbeda dengan zeolit alami, dibuat dan direayasa sedemikian rupa agar diperoleh karakteristik zeolit yang diinginkan sesuai dengan tujuan penggunaannya. Prinsip dasar pembuatan zeolit sintetis adalah menggunakan bahan baku yang menjadi sumber komponen utama zeolit, yaitu silika dan alumina, sehingga dapat disintesis dengan perbandingan komposisi tertentu untuk

memperoleh jenis zeolit yang diinginkan. Dengan ini, zeolit sintetik memiliki kemurnian yang tinggi jika dibandingkan dengan zeolit alam. Studi pengembangan zeolit sintetik yang sedang marak terbagi menjadi dua fokus utama, yaitu bahan baku dan metode. Bahan baku zeolit yang sedang populer dikembangkan salah satunya adalah dari limbah industri. Hal ini bertujuan untuk memberikan nilai dan harga bahan baku limbah tersebut, serta memanjangkan daur hidupnya. Salah satu bahan baku limbah yang dimaksud adalah abu layang [7].

Zeolite yang sintesis dari abu layang batubara dapat dilakukan dengan menambahkan senyawa-senyawa yang mampu menghasilkan suatu ikatan polimer yang kuat. Berbagai upaya untuk mengaktifkan abu layang telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti. Sejak pertama kalinya zeolit disintesis dari abu layang oleh Holler dan Wirsching pada tahun 1985 banyak muncul paten dan artikel yang menawarkan berbagai metode dalam mensintesis berbagai jenis zeolite dari abu layang [8]. Adapun beberapa penelitian yang membahas pembuatan zeolit dari abu layang antara lain, zeolit NaP hidroksi sodalit [9] [10], zeolit X dan zeolit A [11]. Proses hidrotermal merupakan proses yang paling umum digunakan untuk mensintesis zeolit dari abu layang, dimana abu layang di campurkan dengan larutan alkali pada kondisi suhu, tekanan, waktu reaksi yang berbeda [9]. Namun, zeolit yang disintesis dengan metode ini masih mengandung sejumlah residual abu layang yang cukup signifikan. Shigemoto et al. (1995), mengajukan metode gabungan yang menggabungkan proses fusi alkali dan hidrotermal dimana menghasilkan peningkatan ekstraksi silikat dan alumina dari abu terbang sehingga zeolite yang

terbentuk lebih banyak. Oleh karena itu, metode gabungan fusi alkali dan hidrotermal yang akan digunakan sebagai metode sintesis zeolit dari abu layang pada penelitian ini.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan sintesis dan karakterisasi dari zeolit hasil sintesis dari abu layang batu bara dengan metode gabungan fusi alkali dan hidrotermal. Penelitian ini diharapkan menjadi salah satu pengembangan terkait pemanfaatan limbah abu layang batu bara sehingga dapat mengurangi keperluan penampungan akhir yang saat ini lahannya sangat terbatas. Manfaat dari penelitian ini adalah dengan diketahui karakteristik zeolit yang disintesis dari abu layang batu bara dapat menunjukkan bagaimana potensi aplikasinya dibidang teknik lingkungan seperti penyisihan limbah cair maupun purifikasi udara.

## 2. METODE PENELITIAN

**Bahan baku.** Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi abu layang batubara yang diambil dari PLTU (350 MW) Pelabuhan Ratu, Jawa Barat, pelet NaOH (Merck), dan air distilasi.

**Kegiatan penelitian.** Kegiatan pada penelitian ini dibagi menjadi dua yaitu, 1) sintesis zeolit abu layang, dan 2) karakterisasi abu layang dan zeolit. Tahapan kegiatan yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1 (diagram alir) berikut :

**1) Sintesis zeolit abu layang.** Sintesis zeolit abu layang dilakukan dengan menggunakan metode sintesis gabungan dua tahap, yaitu fusi alkali dan hidrotermal [9]. Pertama, abu layang dan NaOH padat dengan rasio 1:1.2 (w/w) dicampurkan dengan mortar dan dimasukkan dalam crucible. Setelah itu,

campuran dipanaskan dalam muffle furnace dengan suhu 550 °C selama 60 menit. Campuran kemudian didinginkan pada suhu ruang, lalu ditambahkan dengan air distilasi dengan rasio (air:abu 8.5:1) dan diaduk dalam magnetic stirrer selama 24 jam. Slurry yang dihasilkan kemudian diberi perlakuan hidrotermal, yaitu dipanaskan pada suhu 105 °C selama 24 jam dalam oven. Setelah itu, produk yang diperoleh didinginkan dalam suhu ruang kemudian disaring dan dicuci dengan air distilasi hingga pH filtrat mencapai pH 9-10, lalu dikeringkan dalam oven dengan suhu 105 °C.

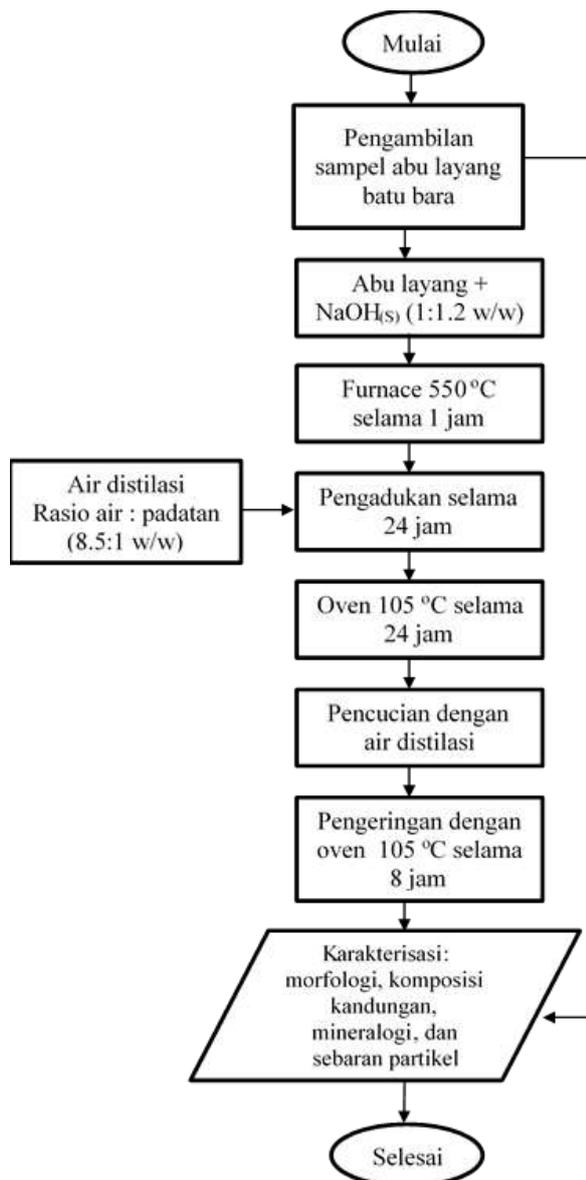
## 2) Karakterisasi abu layang dan zeolit.

Sampel abu layang dan hasil zeolit yang disintesis dikarakterisasi komposisi kimianya dengan X-ray Fluorescence (XRF) Panalitical X'Pert Pro MPD yang dilengkapi dengan Fast Detector X'Celerator. Karakterisasi mineralogi kedua sampel dilakukan dengan X-ray Diffraction (XRD) Panalytical Epsilon 1. Pengujian morfologi permukaan sampel dilakukan dengan Scanning Electron Microscopy (SEM-EDS) Hitachi SU-3500, serta untuk mengetahui sebaran ukuran partikel kedua sampel digunakan Particle Size Analyzer.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

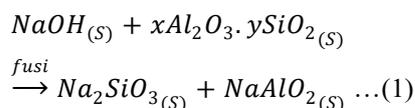
### Sintesis Zeolit Hidroksi Sodalit dari Abu Layang.

Sintesis zeolit dari abu layang mengadopsi metode yang digunakan oleh [9]. Metode yang digunakan adalah metode dua tahap fusi alkali-hidrotermal. Prinsip dari metode fusi alkali ini adalah mereaksikan bahan baku sumber oksida logam yaitu abu layang dengan NaOH yang bersifat basa alkali pada



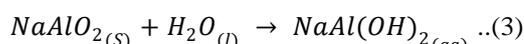
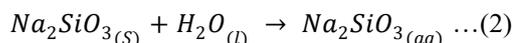
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

suhu yang sangat tinggi dengan tujuan merubah bentuk kandungan alumina dan silika pada abu layang menjadi bentuk garamnya yang mudah larut dalam air. Reaksi yang terjadi pada proses fusi alkali adalah sebagai berikut:

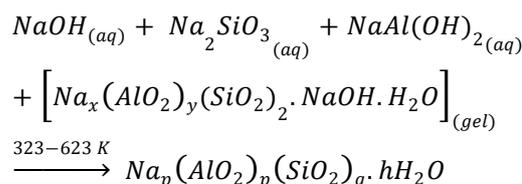


Selanjutnya garam silika dan garam alumina dilarutkan dalam air distilasi, dimana

ditunjukkan dalam persamaan reaksi sebagai berikut:



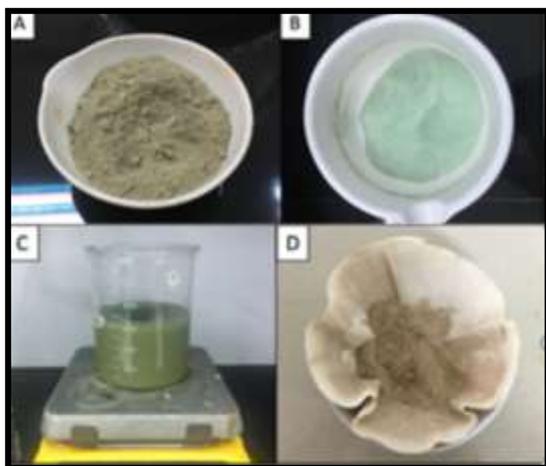
Setelah itu, metode hidrotermal dilakukan untuk keberlangsungan proses kristalisasi. Persamaan reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



(kristal dalam suspensi) .....(4)

Hasil yang diperoleh dari proses sintesis abu layang menjadi zeolit ini adalah zeolit hidroksi sodalit  $[Na_6Al_6Si_6O_{24}]$ .

Berdasarkan Gambar 2. dapat diamati abu layang yang berupa butiran halus dengan warna keabu-abuan setelah ditambahkan basa alkali dan melewati proses fusi alkali akan berubah warna menjadi kehijauan. Ini mengindikasikan terbentuknya garam-garam alumina silika. Setelah melalui proses pelarutan dan juga proses hidrotermal yang cukup lama, zeolit yang diperoleh akan berupa padatan yang sangat halus berwarna kecoklatan.



**Gambar 2.** Proses sintesis zeolit abu layang: A. abu layang, B. abu layang dan NaOH setelah proses fusi

alkali, C. proses pelarutan garam alumina silika, D. hasil sintesis zeolit abu layang

### Karakterisasi Abu Layang dan Zeolit Hidroksi Sodolit dari Abu Layang.

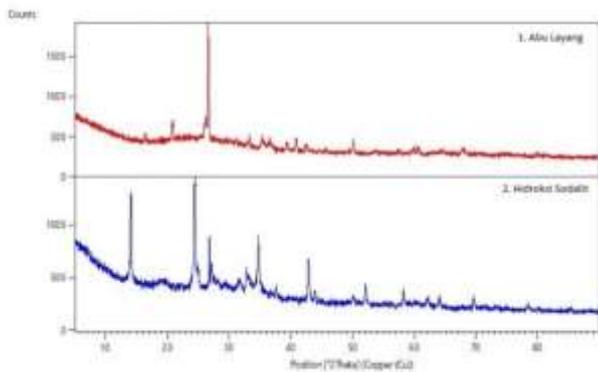
Struktur dan morfologi dari abu layang dan zeolit hidroksi sodalit hasil sintesis dikarakterisasi dengan XRD dan SEM. Abu layang yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari PLTU Pelabuhan Ratu, Jawa Barat. Komposisi kimiawi dari abu layang yang diambil dan zeolit yang disintesis dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan *American Association for Testing and Material* (ASTM C618), abu layang yang digunakan dalam studi ini diklasifikasikan sebagai abu layang kelas F karena komposisi logam oksidanya yang lebih dari 70%. Abu layang terdiri dari materi alumina silika dimana komposisi  $Al_2O_3$  17.89%,  $SiO_2$  41.11%,  $Fe_2O_3$  20.87%, dan  $CaO$  13.45%. Dari hasil sintesis zeolit hidroksi sodalit dari abu layang diperoleh komposisi kimia yang tidak berubah jauh dengan abu layang sebelum disintesis, namun hilang beberapa komponen minor seperti  $ZrO_2$  dan  $BaO$ . Hal ini menunjukkan bahwa proses sintesis abu layang menjadi zeolit hidroksi sodalit tidak merubah komposisi kimia secara signifikan, namun dapat diduga merubah struktur kristal. Hal ini dapat dibuktikan dengan pengujian XRD.

**Tabel 1.** Komposisi Kimia dari abu layang dan zeolit hidroksi sodalit hasil sintesis

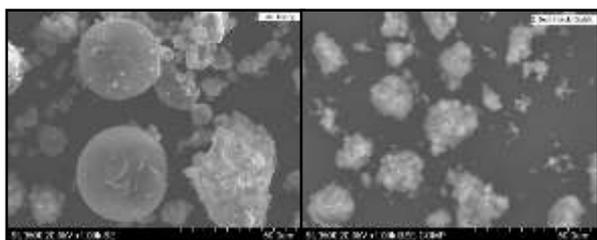
| Komposisi Kimia | Konsentrasi (%) |                         |
|-----------------|-----------------|-------------------------|
|                 | Abu Layang      | Zeolit Hidroksi Sodolit |
| $Al_2O_3$       | 17.89           | 16.01                   |
| $SiO_2$         | 41.11           | 38.27                   |
| $P_2O_5$        | 1.04            | 0.86                    |
| $SO_3$          | 0.94            | 0.65                    |
| $Cl$            | 0.37            | 0.53                    |
| $K_2O$          | 1.45            | 0.45                    |
| $CaO$           | 13.45           | 14.89                   |
| $TiO_2$         | 2.09            | 2.60                    |

|           |       |       |
|-----------|-------|-------|
| $Fe_2O_3$ | 20.87 | 25.18 |
| $SrO$     | 0.47  | 0.56  |
| $ZrO_2$   | 0.17  | -     |
| $BaO$     | 0.14  | -     |
| Total     | 100   | 100   |

Pengujian karakteristik dengan XRD dilakukan untuk mengetahui senyawa kristal yang terkandung atau terbentuk dalam suatu material kristalin sehingga dapat diketahui mineralogi, struktur, dan orientasi dari kristal. Pola difraksi dari analisis XRD pada abu layang dapat dilihat pada Gambar 2. Pola difraksi abu layang diidentifikasi mineraloginya sebagai *quartz* dan besi oksida sesuai dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh [12], sedangkan setelah disintesis pola difraksi menunjukkan bahwa zeolit yang disintesis adalah hidroksi sodalit (SOD). Puncak yang muncul pada 14, 24, 35, 42.5° merupakan karakteristik pola difraksi hidroksi sodalit yang telah dicocokkan dengan *database* milik *The International Zeolite Association*.



**Gambar 2.** Pola difraksi hasil XRD abu layang dan zeolit hidroksi sodalit hasil sintesis



**Gambar 3.** Morfologi abu layang (kiri) dan zeolit hidroksi sodalit hasil sintesis (kanan)

Karakteristik mikrostruktur dari abu layang dan zeolit yang disintesis dapat dianalisis melalui pengujian SEM. Hal ini bertujuan untuk melihat morfologi permukaan dari padatan abu layang dan zeolit hidroksi sodalit. Prinsip analisis ini melibatkan radiasi permukaan dengan sumber energi tertentu yang cukup menembus dan menimbulkan transisi sehingga menghasilkan emisi dari permukaan berkas energi yang kemudian dapat dianalisis. Gambar 3 mengilustrasikan morfologi dari abu layang dan zeolit hidroksi sodalit yang disintesis. Dapat dilihat bahwa partikel abu layang menunjukkan bentuk bulatan dengan permukaan yang relatif halus. Setelah melewati proses sintesis dua tahap yaitu, fusi alkali-hidrotermal, bentuk bulatan abu layang berubah dengan memiliki permukaan yang berkrystal. Melalui pengujian sebaran ukuran partikel, diperoleh sebaran ukuran partikel zeolit hidroksi sodalit (865 nm) yang lebih kecil dibandingkan abu layang (927 nm) sebelum disintesis. Hal ini dapat mengindikasikan akan ada peningkatan luas permukaan sehingga menunjukkan potensi sebagai adsorben polutan, seperti logam berat.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, kesimpulan yang dapat ditarik adalah sebagai berikut: abu layang batubara dapat disintesis menjadi zeolit jenis hidroksi sodalit melalui metode sintesis gabungan dua tahap yaitu metode fusi alkali yang diikuti dengan metode hidrotermal. Hal ini dibuktikan dari pengujian karakteristik fisik, khususnya karakteristik komposisi kimiawi, karakteristik mineralogi, sebaran ukuran partikel dan morfologinya. Dari karakteristik zeolit hasil sintesis ini dapat disimpulkan bahwa zeolit ini memiliki potensi sebagai

adsorben untuk penyisihan polutan cair maupun gas pada aplikasi teknologi lingkungan. Penulis menyarankan agar dilakukan penelitian lebih lanjut terkait kemampuan zeolit yang disintesis untuk diaplikasikan dalam penyisihan polutan secara langsung, atau melakukan penelitian lebih lanjut terkait pemanfaatan abu layang untuk disintesis menjadi zeolit jenis lainnya.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pusat Litbang Teknologi Mineral dan Batubara. 2006. *Laporan: Batu Bara di Indonesia*. Jakarta: Pusat Litbang Teknologi Mineral dan Batubara.
- [2] Belviso, C. 2017. State of the art application of fly ash from coal and biomass: A focus on zeolite synthesis processes and issues. *Journal of Progress in Energy and Combustion Science*. 00:1-27.
- [3] Pujilestari, ES, Hudiyono S, Moersidik SS. 2017. Environmental Impact of Metals Leaching Generated from Long Term Coal Ash Disposal Placement of more than 10 Years Periods. *Asian Journal of Applied Science*. 5(6): 1116-1122.
- [4] Koshy, N, Singh D. 2016. Fly ash zeolites for water treatment application. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 4(2): 1460-1472.
- [5] Akimkhan, A. 2012. Structural and Ion Exchange Properties of Natural Zeolite. *Lecture Notes in Engineering and Computer Science*.
- [6] Mockovciakova, A, Matik M, Orolinova P. 2007. Structural characteristics of modified natural zeolite. *Journal of Porous Mater*. 15: 559-564.
- [7] Sahoo, PK, Tripathy S, Panigrahu MK. 2013. Evaluation of the usage of an alkali modified fly ash as potential adsorbent for the removal of metals from acid mine drainage. *Application of Water Science*. 3: 567-576.
- [8] Franus, W, Wdowin M, Franus M. 2014. Synthesis and characterization of zeolites prepared. *Journal of Environmental Monitoring Assessment*. 186: 5721-5729.
- [9] He, K, Chen Y, Tang Z. 2016. Removal of heavy metal ions from aqueous solution by zeolite. *Journal of Science Pollution Research*. 23(3): 2778-2788.
- [10] Feng, W, Zhijian Wan, Jacqueline Daniels. 2018. Synthesis of high quality zeolites from coal fly ash: Mobility of hazardous elements and environmental applications. *Journal of Cleaner Production*. 202:390-400.
- [11] Izidoro, JD, Fungaro DA, Abbot JE. 2012. Synthesis of zeolites X and A from fly ash for cadmium and zinc removal. *Fuel Journal*. 103: 827-834.
- [12] Franus, W. 2012. Characterization of X type zeolite prepared from coal fly ash. *Polish Journal Environmental Studies*. 21(2): 337-343.