



**KEMAMPUAN MATERIAL ZEOLIT, KARBON AKTIF, DAN LEMPUNG  
UNTUK MENURUNKAN SALINITAS AIR LAUT**

**SKRIPSI**

Oleh

**Ismel Hosna**

**151810201009**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2021**



**KEMAMPUAN MATERIAL ZEOLIT, KARBON AKTIF, DAN LEMPUNG  
UNTUK MENURUNKAN SALINITAS AIR LAUT**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Fisika (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh

**Ismel Hosna**

**151810201009**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2021**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan dengan penuh rasa cinta dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibunda Hasana dan Ayahanda Sanawi yang tanpa henti memberikan cinta, kasih dan sayang tanpa pamrih, selalu menemani, membimbing dan mendukung langkah saya hingga sampai di titik ini. Kakak Nadiratul Aini dan Nafiza dan Ainun Natasya Rosaliya adikku tersayang yang telah menjadi motivasi tersendiri di hati;
2. Almamater tercinta jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

**MOTTO**

Kebaikan tidak sama dengan kejahatan. Tolaklah kejahatan itu dengan cara yang lebih baik, sehingga yang memusuhimu akan seperti teman yang setia.

(Q.S Fusshilat: 34)

Banyak orang gagal dalam kehidupan, bukan karena kurangnya kemampuan, pengetahuan atau keberanian, namun hanya karena mereka tidak pernah mengatur energinya pada sasaran.

Elbert Hubbart

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ismel Hosna

NIM : 151810201009

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: “Kemampuan Material Zeolit, Karbon Aktif, dan Lempung untuk Menurunkan Salinitas Air Laut” adalah benar-benar hasil karya ilmiah sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa dan hanya dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 13 Januari 2021

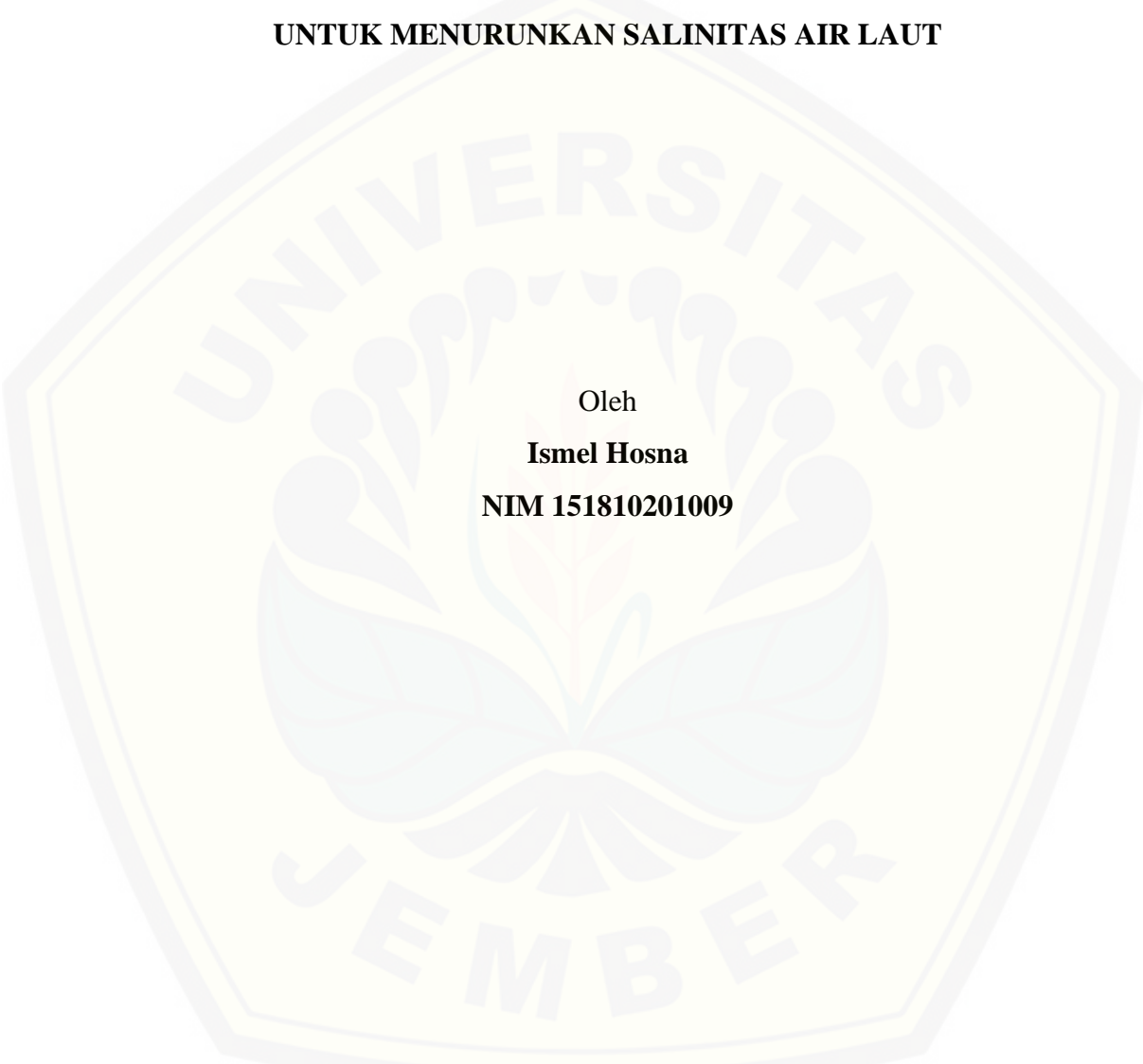
Yang Menyatakan,

Ismel Hosna

NIM 151810201009

**SKRIPSI**

**KEMAMPUAN MATERIAL ZEOLIT, KARBON AKTIF, DAN LEMPUNG  
UNTUK MENURUNKAN SALINITAS AIR LAUT**



Oleh  
**Ismel Hosna**  
**NIM 151810201009**

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Sutisna, S.Pd., M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Drs. Sujito, Ph.D.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Kemampuan Material Zeolit, Karbon Aktif, dan Lempung Untuk Menurunkan Salinitas Air Laut” telah di uji dan disahkan pada:

Hari, tanggal :

Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas  
Jember

Tim Penguji :

Ketua,

Dr. Sutisna, S.Pd., M.Si.  
NIP 197301152000031001

Anggota II,

Wenny Maulina, S.Si., M.Si.  
NIP 198711042014042001

Anggota I,

Drs. Sujito, Ph.D.  
NIP 1961020419871110011

Anggota III,

Dr. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si.  
NIP 196912251999031001

Mengesahkan  
Dekan,

Drs. Achmad Sjaifullah, M.Sc., Ph.D.  
NIP 195910091986021001



## RINGKASAN

**Kemampuan Material Zeolit, Karbon Aktif, dan Lempung Untuk Menurunkan Salinitas Air Laut;** Ismel Hosna; 151810201009; 2020; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Air merupakan kebutuhan pokok masyarakat, tetapi akan menjadi permasalahan ketika terjadi krisis air bersih. Apalagi di daerah sekitar pantai yang memiliki kualitas yang kurang baik, sehingga sulit mendapatkan air tawar untuk digunakan berbagai macam kebutuhan. Pada dasarnya ketersediaan air di bumi memiliki 97% adalah air asin yang tidak dapat dikonsumsi, dan hanya 3% air tawar. Air laut merupakan air yang memiliki jumlah yang berlimpah, memiliki rasa asin serta tingkat kadar garam (salinitas) yang sangat tinggi, dimana rata-rata air laut di lautan dunia memiliki salinitas sebesar 35 ppt. Pada penelitian ini dikaji tentang pemanfaatan material sorben yaitu zeolit, karbon aktif, dan lempung untuk menurunkan salinitas air laut. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan material sorben yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai desalinator air laut.

Penelitian ini diawali dengan proses penyiapan dan aktivasi material sorben. Penyiapan material merupakan proses penyeragaman ukuran material yang akan diaktivasi. Material digerus dan diayak sehingga memiliki ukuran lolos 150 mesh dan tidak lolos 250 mesh. Langkah selanjutnya adalah proses aktivasi menggunakan  $H_2SO_4$  dengan konsentrasi yang divariasikan, yaitu 1,5 M, 2 M, dan 2,5 M. Material yang sudah diaktivasi kemudian diaplikasikan dalam eksperimen reduksi salinitas air laut dengan metode reaktor *batch*. Kemampuan ketiga material dalam mereduksi salinitas air laut dilakukan dengan mengaplikasikan 10 gram material sorben dalam 100 ml air laut dengan salinitas awal 9,90 ppt. Dalam perlakuannya, material dan air laut di *stirrer* selama 2 jam kemudian didiamkan selama 22 jam. Tiap interval waktu 2 jam dilakukan pengukuran salinitas pada larutan uji menggunakan salinometer.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan diperoleh bahwa konsentrasi larutan aktivator berpengaruh terhadap kemampuan material sorben dalam mereduksi salinitas air laut. Diperoleh bahwa sampel karbon aktif yang diaktivasi dengan  $H_2SO_4$  2 M menunjukkan kemampuan reduksi salinitas yang paling tinggi yaitu 67,9% selama 20 jam penggunaan. Sementara itu, dengan kondisi eksperimen yang sama, secara berurutan sampel material zeolit dan lempung hanya mampu maksimum mereduksi salinitas sebesar 58,1% dan 63,6%. Hasil ini didukung oleh data foto SEM yang menunjukkan bahwa dibandingkan dengan sampel zeolit dan lempung, sampel karbon aktif memiliki morfologi permukaan yang lebih berpori dan lebih tidak rata yang diduga berkontribusi pada luas permukaan spesifik yang lebih besar. Sementara itu, berdasarkan analisis EDX diperoleh bahwa material yang digunakan adalah zeolit jenis mordenit dan lempung jenis montmorillonite.



## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Kemampuan Material Zeolit, Karbon Aktif, dan Lempung Untuk Menurunkan Salinitas Air Laut”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S-1) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Sutisna, S.Pd., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Drs. Sujito, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran, dukungan, pengarahan dan perhatian dalam membimbing penulisan skripsi ini;
2. Wenny Maulina, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji Utama dan Dr. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji Anggota yang telah meluangkan waktu dan pikiran untuk memberikan kritik serta saran dalam penulisan skripsi ini;
3. Dr. Lutfi Rohman, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing dan memberi saran selama menempuh studi di Jurusan Fisika Fakultas MIPA;
4. Seluruh staf pengajar Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Jember yang telah membimbing dan memberi ilmunya selama perkuliahan;
5. Keluarga besar yang selalu memberikan dukungan semangat dan doa demi terselesainya skripsi;
6. Teman-teman fisika material: Aisyah Qusnul Khotimah, Ilma Eka Nur Rokhmawati, Maulida Rahayu, Dini Ayu Kusuma Wardani, Prayunda Prameswari yang telah memberi dukungan dalam penelitian ini.
7. Sahabat yang telah membantu dan seperjuangan: Nur Intan Rizka Rusmawati, Resmining Mega terima kasih atas bantuannya dalam keadaan apapun;

8. Sahabat-sahabat jauh yang selalu menyemangati dalam proses terselesaikannya studi di Fakultas MIPA Universitas Jember;
9. Teman-teman Fisika angkatan 2015 yang telah memberikan semangat;
10. Semua pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis juga menerima segala saran dan kritik dari pembaca demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 13 Januari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

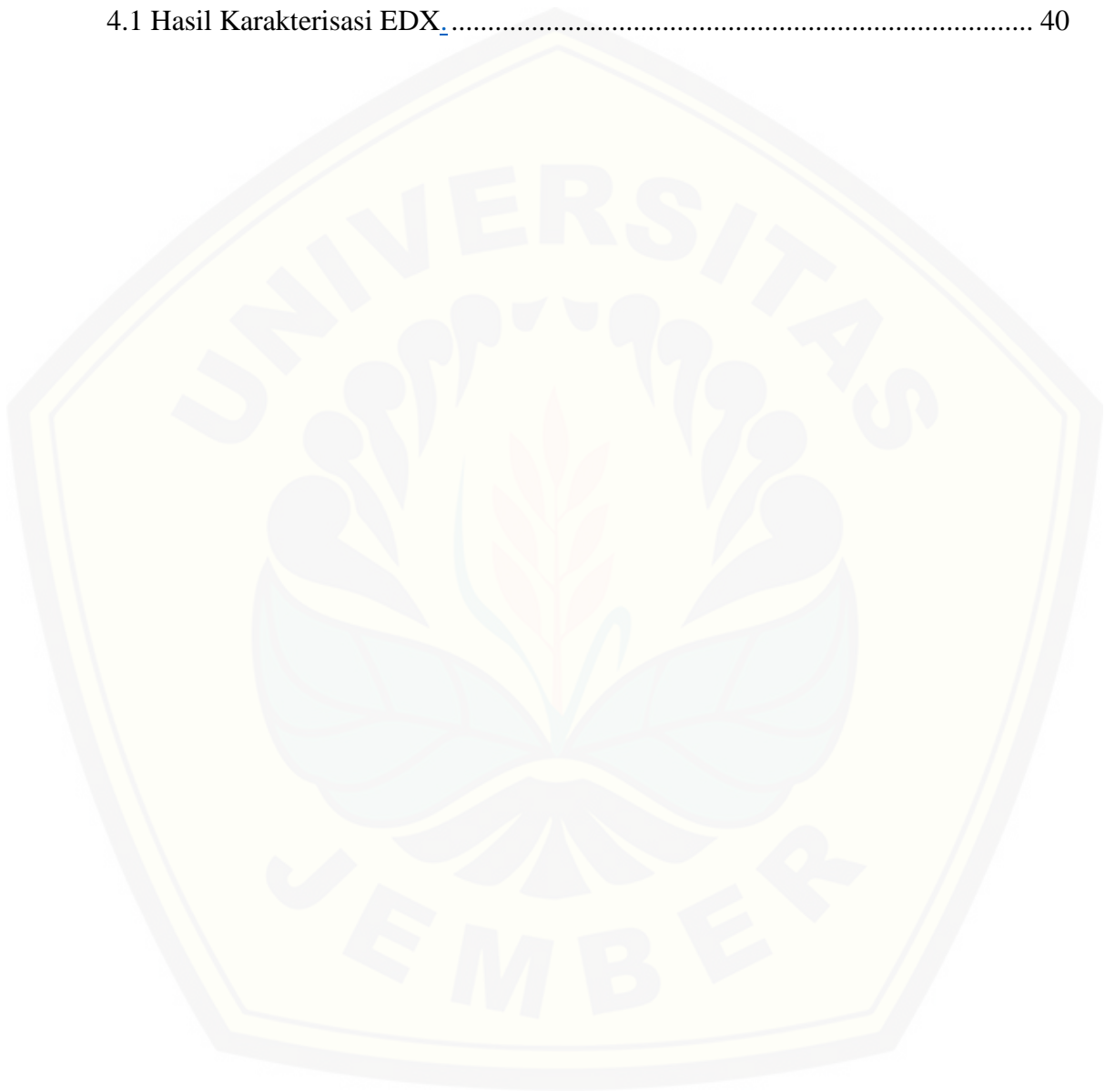
	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	vi
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>PRAKATA</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	5
<b>1.3 Tujuan</b> .....	5
<b>1.4 Manfaat</b> .....	6
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
<b>2.1 Air Laut</b> .....	7
<b>2.2 Metode Desalinasi</b> .....	9
2.2.1 Distilasi .....	9
2.2.2 Filtrasi dengan Membran .....	10
2.2.3 Pembekuan ( <i>Freezing</i> ).....	11
2.2.4 Pertukaran Ion.....	12
<b>2.3 Adsorpsi</b> .....	13
2.3.1 Zeolit sebagai Adsorben .....	14
2.3.2 Karbon Aktif.....	18
2.3.3 Lempung sebagai adsorben.....	20
<b>2.4 Morfologi Internal Material Adsorben</b> .....	25
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	25
<b>3.1 Rancangan penelitian</b> .....	25
<b>3.2 Jenis Data dan Sumber Data Penelitian</b> .....	27
<b>3.3 Definisi Operasional Variabel dan Skala Pengukuran</b> .....	27
3.3.1 Variabel Penelitian.....	27
3.3.2 Skala Pengukuran .....	28
<b>3.4 Kerangka Pemecahan masalah</b> .....	28
3.4.1 Tahap Aktivasi Material .....	29
3.4.2 Uji coba material untuk reduksi salinitas air laut .....	31
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	32
<b>4.1 Aktivasi Material Sorben</b> .....	32
<b>4.2 Pengujian Desalinasi Air Laut</b> ..... Error! Bookmark not defined.	

4.3 Karakteristik Morfologi dan Komposisi Unsur Material Sorben.....	
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	42
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	42
<b>5.2 Saran</b> .....	42
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	43
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>



**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Jenis Zeolit.....	15
4.1 Hasil Karakterisasi EDX.....	40

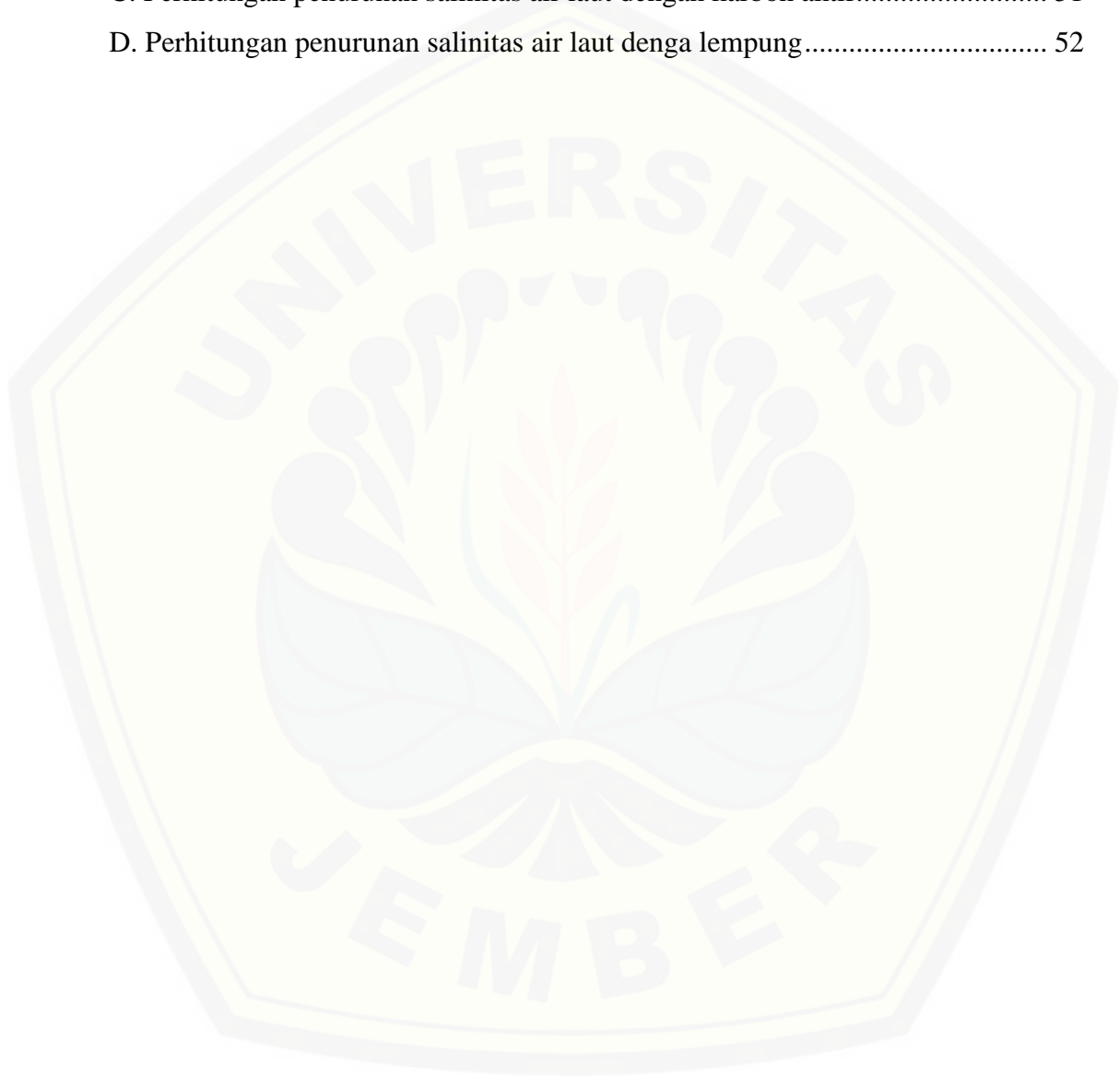


**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
2.1 Struktur Zeolit Alam Modernit .....	15
2.2 Diagram Struktur Montmorillonite .....	21
2.3 Diagram Struktur Kaolinite.....	22
2.4 Diagram Struktur Illite .....	23
3.1 Rancangan Penelitian .....	25
3.2 Diagram Alir Kerangka Pemecahan Masalah .....	28
3.3 Proses Aktivasi Adsorben .....	29
3.4 Peralatan uji coba material adsorben pada air laut .....	31
3.5 Proses perendaman material pada air laut .....	31
4.1 Proses aktivasi zeolit.....	33
4.2 Proses aktivasi karbon aktif .....	34
4.3 Proses aktivasi lempung.....	34
4.4 Proses desalinasi air laut dengan material adsorben .....	35
4.5 Reduksi air laut menggunakan zeolit.....	36
4.6 Reduksi air laut menggunakan karbon aktif.....	36
4.7 Reduksi air laut menggunakan lempung .....	37
4.8 Grafik perbandingan reduksi salinitas air laut dan waktu kontak menggunakan zeolit, karbon aktif, dan lempung.....	39
4.9 Morfologi permukaan material .....	40

**DAFTAR LAMPIRAN**

A. Pembuatan Larutan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	49
B. Perhitungan penurunan salinitas air laut dengan zeolit.....	49
C. Perhitungan penurunan salinitas air laut dengan karbon aktif.....	51
D. Perhitungan penurunan salinitas air laut dengan lempung.....	52





## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Ketersediaan air bersih merupakan masalah yang pelik di berbagai negara, tanpa terkecuali di negara maju. Segala kebutuhan dasar manusia sangat bergantung pada ketersediaan air, termasuk ekonomi dan sosial. Indonesia merupakan negara kepulauan yang berpenghuni dan salah satu negara yang memiliki garis pantai terpanjang di dunia yaitu sekitar 81.000 km. Indonesia memiliki laut yang lebih luas daripada daratan yaitu seluas 3,1 juta km<sup>2</sup> atau sekitar 62 % dari seluruh wilayah Indonesia. Namun sebagai negara yang kaya akan air seharusnya tidak ada penduduk yang kesulitan mendapatkan air bersih (Notji, 2005).

Menurut Bahagiarti (2010) hanya ada 0,62% air yang akan di perebutkan untuk 6,7 miliar manusia di bumi. Pada dasarnya ketersediaan air di bumi sangatlah melimpah. Dimana 97% adalah air asin yang tidak dapat di konsumsi, dan hanya 3% air tawar. Ketersediaan 3% air tawar tersebut 2% berupa air beku di kutub utara dan selatan. Sisa 1% air tawar tersebut tidaklah semuanya dapat di konsumsi, melainkan hanya 0,62% saja yang layak untuk di konsumsi. Setiap harinya, air yang layak untuk dikonsumsi semakin berkurang disebabkan oleh siklus air dan faktor lingkungan.

Air sebagai kebutuhan pokok yang dapat dikonsumsi bisa berasal dari air tanah, air sungai, air danau atau air rawa. Air yang dapat digunakan harus dalam keadaan bersih, tidak berwarna, tidak memiliki bau, tidak berasa dan tidak mengandung racun. Ketersediaan air bersih ini semakin sulit ditemukan karena pencemaran lingkungan yang semakin hari semakin meningkat. Zat pencemar baik dari industri maupun perumahan telah menyebabkan kualitas air semakin rendah, sehingga jumlah dan cadangan air bersih yang tersedia semakin sedikit. Air yang terkontaminasi dapat mengandung zat kimia berbahaya dan mengandung mikroba yang menimbulkan penyakit. Air yang sudah tercemar dapat dimanfaatkan kembali dengan cara didaur ulang dengan proses pemurnian air sehingga dapat dikonsumsi.

Indonesia merupakan negara maritim yang memiliki keluasan laut yang begitu besar. Sedangkan krisis air bersih akan terjadi pada saat kemarau panjang dan juga pada musim hujan karena air mudah keruh, sehingga usaha untuk melakukan penjenihan air menjadi sangat sulit. Air laut memiliki pH 7,5-8,4 dengan konsentrasi campuran unsur-unsur yang berbeda dan memiliki kandungan kation yang sangat tinggi. Ion-ion utama penyusun air laut adalah: natrium 55%, klor 31%, sulfat 8%, magnesium 4%, kalsium 1% dan kalium 1%. Kandungan senyawa yang paling dominan adalah NaCl. Laut di garis lintang subtropis memiliki salinitas yang sangat tinggi akibat di daerah tersebut memiliki suhu yang lebih tinggi, berarti suhu sangat berpengaruh sehingga jumlah kadar garam semakin tinggi. Sedangkan laut di daerah temperatur sedang lebih rendah salinitasnya karena rendahnya evaporasi dan sering terkena air hujan. Laut kawasan terbuka memiliki salinitas hampir tidak berubah dengan kisaran 34-37%. Sedangkan laut kawasan tertutup seperti laut Merah dan Teluk Ara, memiliki salinitas sedikit lebih tinggi yaitu 44% (Sidharta, 2016).

Daerah pesisir merupakan daerah sekitar pantai sehingga secara kuantitas memiliki ketersediaan jumlah air yang sangat banyak. Sumber daya air yang terdapat di daerah tersebut memiliki kualitas yang kurang baik, sehingga sulit mendapatkan air tawar untuk digunakan berbagai macam kebutuhan. Kelangkaan air tawar ini dapat diatasi seandainya dapat mengolah air laut menjadi air tawar.

Sistem untuk mengolah air laut menjadi air tawar sudah banyak dilakukan seperti metode desalinasi yang meliputi distilasi, osmosis terbalik (*Reverse Osmosis*), dan elektronikdialisis (Heitmann, 1990; Idaman, 2003). Metode ini dapat menghasilkan air tawar dengan kualitas hampir mendekati murni. Meskipun demikian, metode-metode desalinasi yang disebutkan di atas hampir semuanya memerlukan biaya yang sangat mahal untuk menghasilkan air tawar yang dapat dikonsumsi. Metode distilasi, air laut dipanaskan hingga mendidih, dan uap yang dihasilkan akan terkondensasi menjadi air tawar, meskipun metode ini sederhana, jumlah air tawar yang dihasilkan sebanding dengan jumlah energi yang diperlukan. Sedangkan untuk metode modern atau osmosis terbalik adalah menyaring air laut melalui aliran pipa yang memiliki tekanan tinggi sehingga air

tawar yang dihasilkan terpisah dengan kandungan garamnya. Semakin modern metode yang digunakan semakin mahal biaya yang diperlukan, maka akan semakin sedikit yang menggunakan (Iswadi, 2016).

Cara lain yang pernah dilakukan untuk proses desalinasi air laut adalah dengan menggunakan material adsorben, misalnya zeolit. Zeolit merupakan senyawa aluminium silikat yang mengandung unsur alkali dan alkali tanah, memiliki pori yang berhubungan satu sama lainnya ke segala arah dan kapasitas tukar kation yang tinggi (Khaidir, 2011). Zeolit dapat digunakan sebagai adsorben, penukar ion, katalis dan penyaring molekul. Zeolit dapat digunakan sebagai adsorben dan penyaring molekul karena memiliki pori sehingga dapat menyerap molekul dengan jumlah besar dengan ukuran sangat kecil atau sesuai ukuran pori. Material zeolit yang mengalami hidrasi disebut adsorben yang memiliki efektivitas adsorpsi yang sangat besar.

Penggunaan zeolit untuk penurunan salinitas air laut pernah dilakukan Gustian *et al.*, (2015) dengan menggunakan zeolit alam yang berasal dari Bengkulu dengan melakukan proses aktivasi dan kalsinasi. Zeolit alam tanpa aktivasi dapat mengurangi kadar garam sebesar 4%. Kalsinasi pada suhu tinggi dari zeolit alam yang tidak diaktifkan dapat memperbesar penurunan kadar garam.

Irnaningsih (2015), telah berhasil menurunkan salinitas air laut dengan menggunakan zeolit alam yang diaktifasi HCl dengan metode X-Ray. Hasilnya semakin tinggi konsentrasi HCl dalam proses aktivasi zeolit, maka tingkat penurunan salinitas air laut semakin besar. Hal ini terjadi karena semakin tinggi konsentrasi pereaksi, maka daya pengikat semakin kuat. Sementara itu menurut Wibowo (2017), efektivitas penyerapan tertinggi dan efisiensi reduksi salinitas bernilai 3,2 ppt dan 9,14%, dengan 7,5 gram dosis sorben. Proses ini dapat ditingkatkan melalui peningkatan dosis zeolit (Wibowo *et al.*, 2017).

Metode lainnya yang pernah digunakan dalam kasus desalinasi adalah dengan menggunakan material lempung. Lempung merupakan suatu hasil produk pelapukan yang berasal dari bebatuan keras. Pada umumnya lempung disebut juga batuan sedimen karena terbentuk dari batuan keras (Hartono, 1993). Lempung disebut sebagai tanah liat, adalah sejenis mineral halus, bentuk berupa kepingan,

gentian serta batuan sedimen (*sedimentary rock*) yang berasal dari hablur. Lempung memiliki sifat plastis dan melekat apabila basah terkena air, apabila dalam keadaan kering lempung akan membentuk gumpalan keras dan kaku. Lempung sebagai adsorben karena mempunyai struktur berpori dan mempunyai permukaan yang tinggi.

Penggunaan lempung sebagai penurun kadar garam dilakukan oleh Kurniati *et al.* (2014) menghasilkan penurunan yang signifikan pada kadar garam (Ca) dalam air laut. Nilai penurunan kadar garam (Ca) adalah 93,12% dengan ukuran tanah lempung -10+15 mesh pada waktu 180 menit dan nilai penyisihan dari hasil tukar kation adalah 122,93 meq/100gram. Penurunan kadar garam Ca (Kalium) masih belum melewati baku mutu air yaitu 75 mg/l. Hafiz *et al.* (2015) menggunakan tiga variasi larutan untuk aktivasi tanah lempung yaitu HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan HCl untuk menurunkan kadar Pb dalam air laut. Dari penelitian tersebut diperoleh bahwa penurunan Pb tertinggi sebesar 95,20% dengan kapasitas tukar ion yaitu 124,16 meq/gram dihasilkan dari penggunaan tanah lempung yang diaktivasi dengan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Wibowo *et al.* (2017) menggunakan cara aktivasi termal untuk lempung (sadan) dan diperoleh bahwa efisiensi reduksi pengikat ion pada lempung (sadan) tertinggi adalah 0,9% dengan temperatur aktivasi yaitu 600°C. Semakin tinggi temperatur aktivasi, semakin besar hasil reduksi.

Material yang bisa digunakan dalam desalinasi air laut selanjutnya adalah karbon aktif. Karbon aktif disebut juga karbon yang memiliki pori, yang bisa digunakan sebagai adsorben untuk menghilangkan warna, pemurnian air serta pengolahan limbah. Arang yang telah mengalami perlakuan aktivasi dengan aktivator bahan-bahan kimia atau dengan pemanasan pada temperatur tinggi disebut karbon aktif (Nugroho dan Purwoto, 2013). Material dasar yang sering digunakan sebagai karbon aktif adalah tempurung kelapa dan ampas tebu. Biasanya material yang bisa dijadikan karbon aktif yaitu berupa tulang, kayu lunak, tempurung kelapa, sabut kelapa, ampas tebu, ampas pembuatan kertas, sekam, bonggol jagung, sebuk hasil gergaji dan batu bara (Adinata, 2013; Noviana *et al.*, 2018).



Penggunaan karbon aktif sebagai penurunan salinitas dalam air laut pernah dilakukan oleh Caroline *et al.* (2017) yang menghasilkan penurunan kadar klorida (Cl) dalam air laut terbesar adalah 15,3%. Dalam penelitian tersebut, karbon aktif yang digunakan berasal dari akar mangrove yang diaktivasi dengan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Jayaprakash *et al.* (2017) telah berhasil memperoleh pengurangan kadar klorida (Cl) dalam air laut 60% dan pengurangan sodium 75% dalam air laut dengan menggunakan karbon aktif dari tempurung kelapa dengan suhu aktivasi 900°C. Sukoco (2016) telah berhasil menurunkan kadar klorida sebesar 81,55% menggunakan karbon aktif dari arang bambu dengan media filtrasi.

Berdasarkan uraian di atas, kami telah mengkaji ketiga material yaitu zeolit, karbon aktif, dan lempung yang diaplikasikan untuk mereduksi salinitas air laut. Proses aktivasi material dilakukan dengan menggunakan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan variasi konsentrasi yaitu 1,5 M, 2 M dan 2,5 M. Kemampuan ketiga material tersebut dalam menurunkan salinitas air laut kemudian dibandingkan, sehingga bisa diketahui material yang memiliki potensi paling besar sebagai desalinator air laut. Dalam penelitian ini juga dikaji hasil karakterisasi yaitu, foto SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan data EDX (*Energy Dispersive X-Ray*).

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Adakah pengaruh konsentrasi aktivator terhadap kemampuan adsorpsi material sorben?
2. Manakah diantara ketiga material zeolit, karbon aktif, dan lempung yang memiliki kemampuan paling tinggi dalam menurunkan salinitas air laut?
3. Bagaimana morfologi permukaan dan komposisi unsur dari material sorben sesudah proses aktivasi?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan material sorben (zeolit, karbon aktif, dan lempung) dalam mereduksi salinitas air laut.

Berdasarkan hasil penelitian ini, kita dapat mengetahui material mana yang potensinya paling besar untuk diaplikasikan sebagai desalinator air laut.

#### **1.4 Manfaat**

Manfaat yang diharapkan oleh penelitian ini dapat menjadi pengembangan kajian ilmu pengetahuan dan teknologi yang berkaitan dengan rekayasa material. Hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk penelitian lebih lanjut dalam mengembangkan material yang dapat digunakan sebagai desalinator air laut.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Air Laut

Air merupakan salah satu bentuk cairan yang memiliki senyawa kimia paling berlimpah yang berada di alam meliputi tiga perempat hampir menyeluruh di permukaan bumi, memiliki jumlah air sekitar 97% adalah air garam dan 3% adalah air tawar yang dapat dibutuhkan untuk masyarakat, tanaman, dan hewan (Kalogirou, 2005). Sumber air yang terdapat pada tiga perempat bumi tersebut adalah lautan. Kelemahan utama pada laut adalah memiliki kadar garam yang tinggi. Jenis air mempunyai tingkat salinitas yang berbeda dengan konsentrasi total padatan terlarut adalah air laut, air payau, dan air tawar.

Air laut merupakan air yang memiliki jumlah yang berlimpah berasal dari laut, mempunyai rasa yang asin dan mempunyai tingkat kadar garam (salinitas) yang sangat tinggi, dimana rata-rata air laut di lautan dunia memiliki salinitas sebesar 35 ppt. Sehingga setiap satu liter air laut memiliki kandungan garam 35gram yang terdapat di dalamnya. Kandungan yang berada dalam air laut adalah klorida (55%), natrium (31%), sulfat (8%), magnesium (4%), kalsium (1%), potasium (1%), dan sisanya yang kurang dari 1% terdiri dari bikarbonat, bromida, asam borak, strontium, dan florida (Walangare, 2013). Menurut WHO, batas kadar garam yang diijinkan dalam menghasilkan air tawar adalah 500 *parts per million (ppm)* mencapai 1.000 *ppm*. Sebagian besar air yang terdapat di dunia memiliki kadar garam sampai 10.000 *ppm*, dan total garam terlarut pada air laut secara normal dalam rentang 35.000 – 45.000 *ppm* (Kalogirou, 2005).

Beberapa karakteristik air laut secara umum sebagai berikut:

#### 1. Temperatur

Perpindahan panas dari massa yang satu ke massa lainnya dapat menyebabkan perubahan tinggi rendahnya temperatur air laut. Hal ini disebabkan oleh konduksi panas dari atmosfer, radiasi dari matahari serta kondensasi uap air sehingga bisa menaikkan temperatur permukaan laut. Sedangkan penurunan temperatur pada permukaan air laut biasa disebabkan oleh konduksi balik ke atmosfer, radiasi balik permukaan ke atmosfer, evaporasi (penguapan) dan



matahari. Faktor lainnya yang dapat mempengaruhi temperatur permukaan laut yaitu posisi geografis wilayah perairan. Hal ini sudah dipetakan oleh para ahli dengan membagi pola temperatur dalam arah vertikal menjadi tiga lapisan, yaitu *Well-mixed surface layer* (10-500 m), *thermocline* lapisan transisi (500-1000 m), lapisan ini merupakan lapisan dimana kecepatan perubahan temperatur sangat cepat, dan lapisan homogen dan dingin (>1000 m) (Destrina, 2015).

## 2. Salinitas

Salinitas merupakan kadar garam terlarut dalam air. Satuan salinitas adalah per mil (‰), yaitu jumlah massa total (gram) pada material padat seperti NaCl yang terkandung dalam 1000 gram air laut (Wibisono, 2004). Salinitas adalah bagian dari sifat fisik kimia suatu perairan, selain suhu, pH, substrat dan lain-lain. Salinitas dapat dipengaruhi oleh pasang surut, curah hujan, penguapan, presipitasi dan topografi suatu perairan. Sehingga salinitas suatu perairan dapat sama atau berbeda dengan perairan lainnya, misalnya perairan darat, laut dan payau. Satuan yang ditunjukkan dalam menghitung salinitas yaitu *part per thousand* (ppt) atau biasa juga dengan *practical salinity unit* (psu).

Air laut terdiri dari 96,5% air, senyawa lainnya dalam bentuk molekul dan ion 3,5%. Molekul dan ion dalam air laut terdiri dari 89% berupa garam Chlor, sedangkan sisanya 11% terdiri dari unsur-unsur lainnya. Di seluruh belahan bumi salinitas air laut berkisar antara 33–37 ppt (*part per thousand*), dengan nilai median 34,7 ppt (*part per thousand*). Seperti yang sudah dijelaskan di atas, perbedaan salinitas air laut dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti curah hujan dan aliran sungai yang dapat mempengaruhi rendahnya salinitas, penguapan yang mempengaruhi tingginya salinitas, dan pola sirkulasi air. Secara vertikal, semakin dalam laut maka semakin tinggi juga nilai salinitasnya. Di perairan laut lepas, angin sangat menentukan penyebaran salinitas secara vertikal. Salinitas air laut tertinggi terjadi di sekitar wilayah ekuator, sedangkan yang terendah terjadi di daerah sekitar kutub. 75% dalam air laut memiliki salinitas antara 34,5ppt-35,0ppt (Destrina, 2015). Secara horizontal, pola sebaran salinitas adalah sebagai berikut: daerah ekuator dengan temperatur tinggi dan curah hujan tinggi memiliki salinitas rendah (34-35%), daerah kutub dengan temperatur rendah dan penguapan kecil

serta adanya pencairan es, memiliki salinitas rendah (32-34%). Laut dengan salinitas tinggi (36-37%) terdapat di daerah Lintang 20°-25° LU/LS dengan penguapan tinggi dan curah hujan rendah.

### 3. Massa jenis

Massa jenis merupakan jumlah massa air laut per satuan volume. Massa jenis merupakan fungsi dari kedalaman laut, dan juga dipengaruhi oleh salinitas, temperatur, dan tekanan. Nilai massa jenis bertambah dengan bertambahnya salinitas dan tekanan serta berkurangnya temperatur. Biasanya nilai massa jenis air laut berkisar antara 1,02–1,07 gram/cm<sup>3</sup>. Pada kedalaman < 100 m besarnya densitas dipengaruhi oleh angin dan gelombang (Destrina, 2015).

Lukas and Lindstrom (1991); Destrina, (2015) mengatakan bahwa pada tingkat kepercayaan 95% terlihat adanya hubungan yang positif antara massa jenis dan suhu dengan kecepatan angin, dimana ada kecenderungan meningkatnya kedalaman lapisan tercampur akibat tiupan angin yang sangat kuat. Secara vertikal sebaran massa jenis ditentukan oleh percampuran dan pengangkatan massa air. Penyebab utamanya adalah tiupan angin yang kuat.

## 2.2 Metode Desalinasi

Desalinasi merupakan proses menghilangkan kadar garam pada air asin atau air payau untuk memperoleh air tawar. Beberapa teknologi desalinasi antara lain distilasi (penguapan), *reverse osmosis* (menggunakan membran) dan pertukaran kation. Metode distilasi, proses dilakukan dengan memanaskan air laut sampai menghasilkan uap lalu mengkondensasi untuk mendapatkan air tawar. Sementara itu, pada metode *reverse osmosis*, digunakan membran tipis dengan tekanan tinggi untuk melewatkan molekul air. Metode pertukaran kation dilakukan dengan memasukan material adsorben ke dalam air asin sehingga molekul garam dari air laut terikat di permukaan material (Soegianto, 2005).

### 2.2.1 Distilasi

Penguapan merupakan menghilangkan kadar garam dengan cara dipanaskan menggunakan pemanasan, api, alat pemanas (*heater*) dan sinar matahari. Pada

metode distilasi, air laut dipanaskan hingga mendidih untuk menghasilkan uap dan kemudian uap air yang dihasilkan terkondensasi menjadi air tawar. Air laut bisa mendidih pada saat suhu 100°C pada tekanan atmosfer. Air tawar yang dihasilkan dari proses distilasi memiliki tingkat kemurnian yang tinggi. Uap air laut yang dihasilkan memerlukan kalor untuk proses penguapan yang disebut dengan kalor laten. Jika uap air dikondensasi maka kalor laten akan dilepaskan yang dapat dimanfaatkan untuk memanaskan kembali air laut (Said, 2003; Parassofia, 2017). Walangare (2013) telah melakukan rancang bangun alat konversi air laut menjadi air minum dengan proses destilasi dengan menggunakan pemanas elektrik. Kelemahan dari metode ini adalah bahwa peralatan dan perpipaan yang digunakan akan rusak disebabkan terjadinya korosi (karat) yang mengakibatkan sistem pengolahan akan terhambat, dan butuh biaya dan waktu untuk perbaikan.

Proses distilasi dapat juga dilakukan dengan menggunakan cahaya matahari. Air yang dipanaskan melalui sinar matahari akan melepaskan ikatan molekul air tersebut pada permukaan molekul-molekul air yang memiliki cukup energi dan kemudian terlepas ke atmosfer sebagai uap air. Metode ini menghasilkan air tawar dengan tingkat kemurnian yang tinggi. Meskipun demikian, proses desalinasi menggunakan metode ini berjalan cukup lambat.

### 2.2.2 Filtrasi dengan Membran

Membran merupakan suatu media berlubang yang berbentuk seperti tabung atau film tipis, yang bersifat *semipermeable* berfungsi untuk memisahkan material berdasarkan ukuran dan bentuk molekul. Pori-pori membran yang memiliki ukuran besar untuk menahan komponen dan yang memiliki ukuran kecil untuk melewatkan komponen. Larutan yang mengandung komponen tertahan disebut konsentrat dan larutan yang mengalir disebut *Permeat* (Mulder, 1996).

Proses membran dilakukan menggunakan dua larutan dengan konsentrasi berbeda. Apabila larutan tersebut dipisahkan oleh membran *semipermeable*, maka larutan yang memiliki konsentrasi rendah akan terdifusi melalui membran dan masuk ke dalam larutan yang memiliki konsentrasi tinggi sampai terjadi

kesetimbangan konsentrasi, proses ini disebut proses osmosis. Salah satu contoh pada air laut yang ditawarkan dapat dipisahkan dengan menggunakan membran *semipermeable*, air tawar yang dihasilkan akan terdifusi ke dalam air laut (asin) melalui membran tersebut sampai terjadi kesetimbangan.

Adanya gaya penggerak (*driving force*) pada membran terjadi karena adanya transportasi yang berupa konveksi atau difusi dari masing-masing molekul, adanya tarik-menarik antar muatan atau memiliki perbedaan konsentrasi larutan dan perbedaan suhu atau tekanan. Gaya penggerak yang menyebabkan aliran/difusi air tawar melalui membran *semipermeable* tersebut disebut tekanan osmosis. Besarnya tekanan osmosis tergantung dari karakteristik membran, temperatur air dan konsentrasi garam yang terdapat dalam air. Air laut yang memiliki tekanan osmotik normal (TDS 35.000 ppm dan memiliki suhu 25°C) adalah 26,7 kg/cm<sup>2</sup>. Sementara itu untuk air laut di daerah timur tengah yang mengandung TDS 42,000 ppm dan memiliki suhu 300°C, tekanan osmostiknya adalah 32,7 kg/m<sup>2</sup>.

Apabila pada suatu sistem osmosis diberikan tekanan yang lebih besar dari tekanan osmosisnya, maka aliran air tawar yang dihasilkan akan berbalik yaitu air asin menjadi air tawar melalui membran *semipermeable*, sedangkan garamnya tetap tertinggal di dalam larutan garam sehingga menjadi lebih pekat. Proses ini disebut osmosis terbalik (*reverse osmosis*). Ada 2 sistem utama pada proses desalinasi menggunakan membran yaitu *reverse osmosis* dan elektrodialisis.

### 2.2.3 Pembekuan (*Freezing*)

Proses pembekuan merupakan proses pengolahan air laut dengan cara mendinginkan sampai temperatur tertentu. Akibatnya air akan membeku membentuk es sedangkan garam-garam yang terdapat dalam air laut memiliki titik beku rendah sehingga garam tersebut belum membeku. Secara umum, ada 2 proses pembekuan yaitu *direct frozen* dan *secondary refregnant freezing*.



#### 2.2.4 Pertukaran Ion

Istilah penukar ion secara umum dapat diartikan sebagai pertukaran ion-ion yang memiliki muatan (listrik) yang sama antara suatu larutan dengan bahan padatan yang tidak mudah larut dalam larutan. Apabila ion yang dipertukarkan positif (kation) maka disebut dengan penukar kation, sedangkan jika ion dipertukarkan negatif (anion) maka disebut penukar anion. Pada penukar kation terdapat anion yang melekat secara permanen pada suatu matriks yang disebut ion tetap atau ion yang tidak dapat lolos ke larutan.

Proses terjadinya pertukaran (*ion exchange*) antara kation-kation dalam material penukar ion dengan anion-kation yang terdapat pada larutan disebut proses pertukaran ion. Prinsip dari reduksi kadar garam dengan cara ini ialah terjadinya pertukaran ion antara kation-anion yang ada dalam larutan dengan kation-anion yang terdapat dalam material penukar ion (*ion exchange media*). Proses pertukaran ion ini tidak menyebabkan perubahan struktur fisik penukar ion (Poewadio, 2004).

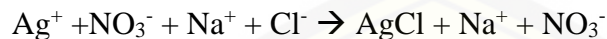
Tanah lempung mempunyai pori-pori yang bisa dilewati oleh air, ketika air laut mengandung ion  $\text{Cl}^-$  ( $\text{Cl}^-$ -air laut) dilewatkan pada tanah lempung teraktivasi (tanah lempung- $\text{OH}^-$ ), maka ion  $\text{Cl}^-$  akan menggantikan ion  $\text{OH}^-$  dari tanah lempung sehingga ion  $\text{Cl}^-$  akan berikatan pada tanah lempung ( $\text{Cl}^-$ -tanah lempung) dan ion  $\text{OH}^-$  akan berikatan pada air laut ( $\text{OH}^-$  -air laut). Kemampuannya adalah untuk dapat mempertukarkan dan mengikat anion, seperti pada kation tergantung hidrasi dan valensi ion-ion yang ada (Susanto, 2005). Reaksi pertukaran ion adalah:

$$\text{OH}^- \text{ pada tanah lempung} + \text{Cl}^- \text{ pada air laut} \rightarrow \text{Cl}^- \text{ pada tanah lempung} + \text{OH}^- \text{ pada air laut}$$

Dimana semakin lama waktu kontak, maka efisiensi semakin menurun. Hal ini disebabkan karena tanah lempung ada di titik jenuh dalam menukarkan ion  $\text{Cl}^-$  dengan  $\text{OH}^-$  yang terdapat dalam tanah lempung.

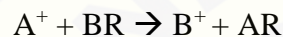
Dalam *Z-solution*, kandungan  $\text{Na}^+$  dalam air laut menghasilkan penurunan dengan menggunakan zeolit alam, tetapi pada  $\text{Cl}^-$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$  menghasilkan penurunan lebih sedikit dengan masing-masing 20% dan 30%. Larutan Z

memiliki kandungan  $\text{Ca}^{2+}$  yang tinggi disebabkan oleh pertukaran ion zeolit antara kandungan  $\text{Na}^+$  dalam air laut dan  $\text{Ca}^{2+}$  yang dapat ditukarkan dalam kristal zeolit. ZA- dan AZ-solution, kandungan  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  bisa dikurangi dengan mengurangi kandungan  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  dengan penambahan larutan  $\text{AgNO}_3$  dengan reaksinya adalah sebagai berikut:



Kerusakan kandungan garam disebabkan oleh  $\text{NO}_3^-$  tetapi bisa diatasi, meskipun kandungan  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  dalam penurunan rendah (Wajima *et al.*, 2015).

Tingkat penyerapan Cu (II) dengan alga merah kering dan karbon aktif dianalisis dengan pertukaran ion. Reaksi kimia yang dapat dituliskan adalah:



Pada awal adsorpsi  $\text{Cu}^{2+}$  dan  $\text{H}^+$  larutan asam yang diserap ketika konsentrasi  $\text{Cu}^{2+}$  meningkat, desorpsi sebagian  $\text{H}^+$  terjadi. Reaksi pertukaran ion terjadi jika hidrogen yang dilepaskan ketika kation  $\text{Cu}^{2+}$  terikat pada pengeringan alga merah dan karbon aktif (Sikaily, 2011).

Persamaan untuk menentukan efisiensi adsorben dapat ditulis sebagai berikut (Aditya *et al.*, 2019).

$$\eta = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100\% \quad (2.1)$$

$$R_s = C_i - C_e \quad (2.2)$$

Dimana  $\eta$  menunjukkan presentase efisiensi dari tiga material (zeolit, karbon aktif, dan lempung),  $C_i$  adalah salinitas awal sebelum penambahan material (*part per thousand*),  $C_e$  adalah salinitas akhir setelah penambahan material (*part per thousand*).  $R_s$  adalah penurunan salinitas (*part per thousand*).

### 2.3 Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses yang terdiri atas reaksi-reaksi permukaan zat padat (adsorben) dengan zat pencemar (adsorbat), baik pada fase cair maupun gas. Adsorben adalah zat padat yang bisa menyerap partikel fluida dalam suatu proses adsorpsi. Adsorben memiliki sifat spesifik dan terbuat dari bahan-bahan yang

memiliki pori. Pemilihan jenis adsorben dalam proses adsorpsi harus disesuaikan dengan sifat dan keadaan zat yang akan diadsorpsi dan nilai komersialnya (Caroline, 2017).

### 2.3.1 Zeolit sebagai Adsorben

Zeolit adalah mineral alumina silikat terhidrat yang dapat mengikat molekul air secara *reversible*. Istilah zeolit berasal dari bahasa Yunani yaitu “zein” berarti membuih, dan “lithos” berarti batu. Zeolit pertama kali ditemukan oleh Freiherr Axel Cronstedt, ahli mineralogi dari Swedia pada tahun 1756. Ada 3 sifat zeolit yaitu kemampuannya dalam melakukan pertukaran ion, memiliki daya serap, daya saring molekul yang baik dan daya katalis yang baik.

Zeolit alam yang ada di Indonesia diketahui 60-70% merupakan jenis mordenit dan sisanya klinoptilolit (Trisunaryanti *et al.*, 2005). Zeolit alam jenis mordenit merupakan zeolit yang memiliki kandungan Si sedang dengan perbandingan Si/Al = 5 dan ukuran pori 6,7-7 Å (Lestari, 2010; Hasibuan, 2012). Zeolit alam tersebut mempunyai banyak pengotor sehingga diperlukan suatu pengolahan untuk menghilangkan unsur pengotor yang terdapat di dalam zeolit sehingga kemampuan kerja zeolit bisa maksimal. Zeolit memiliki kemampuan sebagai adsorben yang unik dengan ukuran pori kecil sehingga mampu menyerap molekul yang mempunyai diameter dengan ukuran sama atau lebih kecil dibandingkan dengan diameter yang memiliki celah rongga, zeolit akan tertahan sehingga hanya akan melintasi partikel.

Komposisi kimia zeolit bergantung pada komposisi hidrotermal lingkungan local seperti, suhu, tekanan uap air setempat dan komposisi air tanah. Sehingga warna dan tekstur yang sama pada zeolit akan menjadi berbeda komposisi kimianya. Jika zeolit yang diambil dari daerah yang berbeda, maka akan terjadi adanya kombinasi dengan mineral yang berupa partikel halus dan memiliki pengotor lainnya (Iskandar, 2008). Maka diperlukan aktivasi dengan tujuan menghilangkan pengotor yang menyumbat pada pori-pori zeolit. Beberapa jenis zeolit yang telah ditemukan di alam (Sukandarrumidi, 1999):

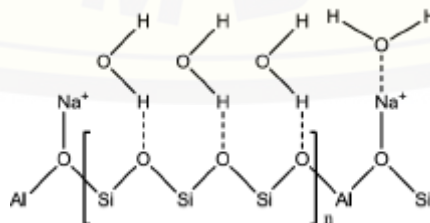


Tabel 2.1 Jenis Zeolit

Zeolit	Struktur Kimia
Klabosit	$\text{Ca}_2(\text{AlO}_2)_4 (\text{SiO}_2)_8 / 18 \text{H}_2\text{O}$
Analsim	$\text{Na}_{16}(\text{AlO}_2)_{16} (\text{SiO}_2)_{32} / 16 \text{H}_2\text{O}$
Leomonfit	$\text{Ca}_4 (\text{Al}_8 \text{Si}_{28} \text{O}_{72})_{24} \text{H}_2\text{O}$
Philipsit	$(\text{K}, \text{Na})_{10} / (\text{AlO}_2)_{10} (\text{SiO}_2)_{22} / \text{H}_2\text{O}$
Heulandit	$\text{Ca}_4 \text{Al}_8 \text{Si}_{16} \text{O}_{48} 16\text{H}_2\text{O}$
Mordenit	$\text{Na}_8 (\text{AlO}_2)_8 (\text{SiO}_2)_{40} / 24 \text{H}_2\text{O}$
Klinoptilotit	$\text{Na}_6 / (\text{AlO}_2)_6 (\text{SiO}_2)_{30} / 24 \text{H}_2\text{O}$

Zeolit memiliki 3 komponen yang terdiri dari kation yang dipertukarkan, kerangka aluminosilikat dan fase air. Ikatan ion Al-Si-O membentuk struktur kristal, sedangkan logam alkali adalah sumber kation yang mudah dipertukarkan (Sutarti, 1994). Umumnya kation aktif bergerak dan bertindak sebagai *ion exchanger*. Keberadaan atom aluminium dalam zeolit secara keseluruhan menyebabkan zeolit memiliki muatan negatif. Hal inilah mampu mengikat kation.

Zeolit alam berasal dari Malang dari Turen mempunyai jenis mordenit yang mempunyai diameter porinya berukuran 6,7 -7 Å dengan struktur zeolit yang mempunyai rumus kimia  $\text{M}_8\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}.2\text{H}_2\text{O}$  (Prasetyo *et al.*, 2012). Struktur zeolit modernit seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.

Gambar 2.1 Struktur zeolit alam modernit (Intrapong *et al.*, 2006)

Zeolit mordenit termasuk dalam zeolit yang berpori besar (terbentuk dari

cincin oksigen beranggotakan 12 yang memiliki stabilitas tinggi terhadap asam serta mampu mempertahankan strukturnya hingga suhu 800-900°C (Prasetyo *et al.*, 2012; Sagita, 2018). Zeolit alam jenis mordenit merupakan material mikropori yang memiliki kemampuan penyerapan dan difusi reaktan serta dapat digunakan sebagai bahan pengemban logam. Selain itu, lubang dan saluran yang dimiliki zeolit mordenit, mampu digunakan sebagai adsorben, penukar ion dan katalisator (Sutarti dan Rachmawati 1994). Zeolit alam yang memiliki muatan negatif dengan memiliki gugus aktif penukar kation berupa kation alkali atau alkali tanah misalnya  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  atau  $\text{Ca}^{2+}$ . Peran gugus aktif sebagai penyeimbang muatan yang dapat dipertukarkan dengan kation lain misalnya surfaktan kationik (Zhan *et al.*, 2011).

Berdasarkan kadar Si zeolit dapat diklasifikasikan menjadi tiga golongan (Rini, 2010).

a. Zeolit dengan kadar Si rendah

Zeolit dengan kadar Si rendah memiliki lebih banyak mengandung Al dibandingkan dengan jenis zeolit yang lainnya. Al yang terkandung dalam zeolit pada jenis ini mampu mencapai perbandingan 1:1 dengan kandungan Si nya. Banyaknya pori pada zeolit jenis Si rendah menyebabkan pertukaran ion dapat berlangsung secara maksimum. Zeolit jenis ini banyak dimanfaatkan untuk pemurnian serta pemisahan yang kapasitasnya besar karena mampu menjadi adsorben yang memiliki kemampuan daya saring atau daya serap relatif baik.

b. Zeolit dengan kadar Si sedang

Zeolit dengan kadar Si sedang memiliki Al yang perbandingannya mencapai nilai 1:5 dengan kandungan Si nya, sehingga zeolit pada jenis ini sangat stabil apabila dibandingkan dengan zeolit yang memiliki kadar Si rendah. Kerangka tetrahedral yang memiliki Al dari zeolit dengan kadar Si sedang tidak stabil terhadap pengaruh asam dan panas. Jenis zeolit yang memiliki kadar Si sedang yaitu zeolit sintesis atau zeolit alam khabasit dan mordenit.

c. Zeolit dengan kadar Si tinggi

Zeolit dengan kadar Si tinggi memiliki perbandingann Al:Si dengan mencapai 1:10-100, oleh sebab itu sifat permukaan zeolit dengan kadar Si tinggi tidak dapat

diprediksi. Zeolit jenis ini mampu menyerap dengan baik molekul non-polar sehingga kerap digunakan sebagai katalisator untuk hidrokarbon. Jenis zeolit jenis ini yaitu zeolit ZSM-5, ZSM-11, ZSM-21, ZSM-24.

Tabel 2.1 Klasifikasi zeolit dari rasio Si/Al

Rasio Si/Al	Jenis Zeolit
<i>Low (1-1,5)</i>	A, X
<i>Intermediate (2-5)</i>	a. Zeolit alam: Erionite, Khabasit, Klinoptilolit, Mordenit b. Zeolit sintesis: Mordenit dengan pori yang besar
<i>High (10-∞)</i>	ZSM-5 ( <i>direct synthesis</i> ) Erionit, Y

(Sumber: Ramoa, 1984)

Tabel 2.2 Komposisi zeolit alam

Komposisi	% wt
SiO <sub>2</sub>	78,83
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,50
K <sub>2</sub> O	2,27
Na <sub>2</sub> O	1,07
MgO	1,95
CuO	2,14

(Sumber: Sutarti, 1994)

Mordenit merupakan mineral zeolit yang terjadi secara alami yang mempunyai ratio Si/Al mendekati 10. Keistimewaan dari mordenit adalah permukaan oval cincin 12 dengan ukuran 0,67 x 0,7 nm, dengan dengan permukaan terdapat cincin 8 dengan diameter 0,39 nm. Setiap kerangka atom berada disebelah rongga cincin 12 atau 8. Struktur menyebabkan semua atom aluminium dan anion atau situs asam yang bergabung dengan berada pada dinding rongga dan dapat dicapai oleh spesies reaktan yang melaluinya (Augustin, 1996).

Proses pengolahan zeolit secara garis besar ada 2 tahap, yaitu 1) tahap preparasi zeolit dilakukan untuk siap diolah dengan pengecilan ukuran dan pengayakan. Tahap ini bisa menggunakan mesin secara keseluruhan atau dengan

cara konvensional. 2) tahap aktivasi zeolit dapat dilakukan dengan cara pemanasan atau penambahan pereaksi kimia (asam atau juga basa) (Nugroho dan Purwoto, 2013):

- a. Aktivasi secara fisika atau dengan proses pemanasan. Zeolit yang dikeringkan dalam pengering putar dapat menggunakan bahan umpan yang memiliki kadar air adalah sekitar 40% dengan suhu tetap  $230^{\circ}\text{C}$  dan 3 jam waktu pemanasan. Proses fisis yang dilakukan dengan cara pemanasan (kalsinasi) pada suhu antara  $200\text{-}600^{\circ}\text{C}$  selama 3 jam. Kalsinasi bertujuan untuk menguapkan air yang terperangkap dalam pori-porinya sehingga jumlah pori dan luas permukaan bertambah.
- b. Aktivasi secara kimia atau penambahan pereaksi dapat dilakukan didalam tempat pengaktifan dengan NaOH, HCl dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Hal ini untuk memperoleh temperatur yang dibutuhkan dalam aktivasi. Zeolit teraktivasi dikeringkan dengan cara menjemur dibawah sinar matahari atau dengan cara dimasukkan ke dalam tanur.

Aktivasi zeolit adalah proses untuk menaikkan daya adsorpsi. Aktivasi zeolit memiliki tujuan untuk menghasilkan permukaan yang lebih luas melalui pembentukan struktur berpori serta dapat menghilangkan senyawa-senyawa pengotor yang terdapat dalam zeolit, misalnya Na, K, Ca dan Fe. Keberadaan senyawa pengotor tersebut dapat mengurangi aktivitas dari zeolit sebagai katalis, adsorben atau aplikasi yang lain (Handoko, 2002).

### 2.3.2 Karbon Aktif

Karbon atau arang yang sudah diaktivasi sehingga rongganya terbuka dan daya adsorpsi lebih besar dari karbon biasa disebut karbon aktif (Roy, 1995; Rahmawati, 2006). Karbon aktif adalah karbon amorf yang memiliki luas permukaan sekitar 300 sampai  $2000\text{ m}^2/\text{gram}$ . Luas permukaan yang sangat besar ini dikarenakan adanya struktur berongga. Rongga-rongga inilah yang menyebabkan karbon aktif memiliki kemampuan untuk menyerap (mengadsorpsi). Adsorpsi karbon aktif secara fisik bersifat dapat balik sehingga adsorbat yang teradsorpsi dapat mengalami desorpsi.

Bahan baku untuk pembuatan karbon aktif bisa berasal dari hewan, tumbuhan, limbah ataupun mineral yang mengandung karbon. Bahan baku yang digunakan antara lain tulang, sekam padi, tongkol jagung, tempurung kelapa, sabut kelapa, cangkang kelapa sawit, cangkang kopi, cangkang kemiri, ampas tepu, kulit durian, serbuk gergaji, kayu keras, kayu campuran, kayu lunak, kayu jati, kayu karet dan sebagainya. Secara garis besar ada 3 tahapan dalam pembuatan karbon aktif, yaitu:

#### 1. Proses Pengarangan/Karbonisasi

Proses pemanasan pada suhu tertentu dari bahan-bahan organik dalam jumlah oksigen sangat terbatas, biasanya di dalam *furnace* disebut proses pengarangan atau karbonisasi. Hal ini menyebabkan terjadinya proses penguraian senyawa organik yang menyusun struktur bahan membentuk methanol, uap-uap asam asetat, tar-tar dan hidrokarbon. Karbon dalam bentuk arang aktif dengan area permukaan spesifik yang sempit dikatakan material padat yang tinggal setelah karbonisasi (Cheresmisinoff, 1993; Surest, 2008).

#### 2. Proses aktivasi

Proses aktivasi dilakukan untuk memperbesar luas permukaan, total karbon hasil dari pemanasan karbonisasi dengan melakukan pelepasan hidrokarbon yang menempel pada arang sehingga daya adsorpsinya semakin bertambah. Karbon yang sudah diaktifkan dari hasil pengarangan dilakukan dengan dua cara aktivasi yakni:

##### a. Aktivasi fisika

Proses pemisahan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan panas dengan suhu 800°C samai 900°C (Hartanto, 2010).

##### b. Aktivasi Kimia

Aktivasi kimia adalah proses aktivasi yang menggunakan bahan-bahan kimia yang telah ada dalam karbon atau juga ditambahkan untuk menguraikan material selulosa secara kimia. Bahan kimia yang umum digunakan sebagai aktivator adalah  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MnCl}_2$ ,  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{NaOH}$  dan lain-lain (Surest, 2008). Suhu lebih rendah (450-700°C) karena dapat meningkatkan



pengembangan pori dalam struktur karbon, memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi, mengurangi waktu reaksi dan hasil produk yang lebih tinggi.

### 3. Proses Dehidrasi

Proses penghilangan air pada pasta karbon melalui pemanasan menggunakan oven dengan suhu  $200^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam, sehingga diperoleh karbon aktif kering yang siap digunakan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses aktivasi adalah waktu aktivasi, suhu aktivasi, ukuran partikel, rasio aktivator dan jenis aktivator yang akan mempengaruhi daya serap arang aktif (Tawalbeh, 2005; Hartanto, 2010).

Ada dua tipe karbon aktif yaitu:

- a. Karbon aktif sebagai pemudar dan biasanya berbentuk *powder* halus yang memiliki diameter pori  $1000 \text{ \AA}$ , digunakan dalam fase cair yang berfungsi untuk memisahkan zat-zat pengotor.
- b. Karbon aktif sebagai penyerap uap dan biasanya berbentuk granular atau pellet yang sangat keras, memiliki diameter porinya  $10\text{-}200 \text{ \AA}$ , pada umumnya digunakan pada fase gas, yang berfungsi untuk pengemulsi pelarut, katalis dan pemurnian gas (Sembiring *et al.*, 2003).

#### 2.3.3 Lempung sebagai adsorben

Bahan alam yang memiliki banyak kandungan bahan anorganik, yang berisi kumpulan mineral-mineral disebut lempung. Ada dua bagian yang berlainan pada sistem lempung yakni misel relatif besar dan tidak mudah larut (lapisan alumina silikat) dan kumpulan kation-kation yang tidak kuat terikat misalnya  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  dan  $\text{Ca}^+$ . Umumnya lempung memiliki warna agak kecoklatan dan bersifat liat jika basah dan akan keras jika kering (Wijaya *et al.*, 2002).

Lempung termasuk batuan rombakan (sedimen) bisa berupa endapan residu atau juga bisa berupa endapan sedimen. Dua perlakuan yakni perlakuan fisika dan kimia dapat menyebabkan perubahan sifat lempung sehingga menyebabkan perbedaan pemanfaatannya. Lempung alam biasa digunakan untuk berbagai percobaan karena biaya masih terjangkau, keberadaan lempung berlimpah di

berbagai belahan dunia, potensi pertukaran ion dan sifat penyerapan yang besar. (Shichi dan Takagi, 2000).

Lempung memiliki kemampuan adsorpsi karena adanya muatan negatif dari struktur materialnya. Muatan negatif memberikan kemampuan untuk menyerap muatan positif. Luas permukaan dan porositas yang tinggi pada lempung dipengaruhi oleh serapan tersebut. Perbedaan kemampuan lempung tergantung pada perbedaan komponen kimia struktur pembentuknya dan terdapat kandungan kation pada lapisan penyusun lempung. Struktur dasar lempung terbentuk dari dua atau beberapa buah lapisan oksidasi dan mineral. Lapisan tersusun dari unit-unit paralel silika dan lapisan alumina silika yang membentuk lapisan tetrahedral dan alumina membentuk lapisan oktahedral. Susunan molekulnya terdiri atas 4 oksigen terpisah disudut-sudut piramid dan ditengahnya terdapat 1 silikon. Lembaran silika memiliki tebal yakni  $5 \times 10^{-7}$  mm atau 5 Angstrom. Alumina oktahedral terdiri dari 6 ion oksigen dan 1 ion aluminium. Tiga dari oksigen berada di bidang atas dari oktahedral dan tiga lainnya di bidang bawah.

Lempung memiliki beberapa struktur ikatan antar lapisan lebih kuat dan tidak dapat menyerap air atau mengembang. Ikatan yang sudah terbentuk pada struktur lempung ada yang lemah dan memiliki kemampuan menyerap air dan mengembang pada lapisannya. Jenis lempung dan pemanfaatannya dapat ditentukan oleh bentuk struktur dan kandungan mineral yang terdapat di dalamnya, contoh Na-bentonit atau montmorillonite adalah salah satu lempung yang dapat mengembang karena terjadi campuran air (Fathurrahmi, 2012).

Kelebihan yang dimiliki lempung yaitu memiliki sifat mudah mengembang, luas permukaan besar, kapasitas tukar kation yang tinggi serta stabil secara kimia dan mekanik (Ortega *et al.*, 2013). Lempung harus diaktivasi terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai adsorben untuk membersihkan kandungan pengotor dalam lempung. Aktivasi dilakukan dengan dua cara, yakni aktivasi secara kimia dilakukan dengan menggunakan larutan asam dan untuk aktivasi secara fisis dilakukan dengan pemanasan (kalsinasi) (Koyuncu, 2007).

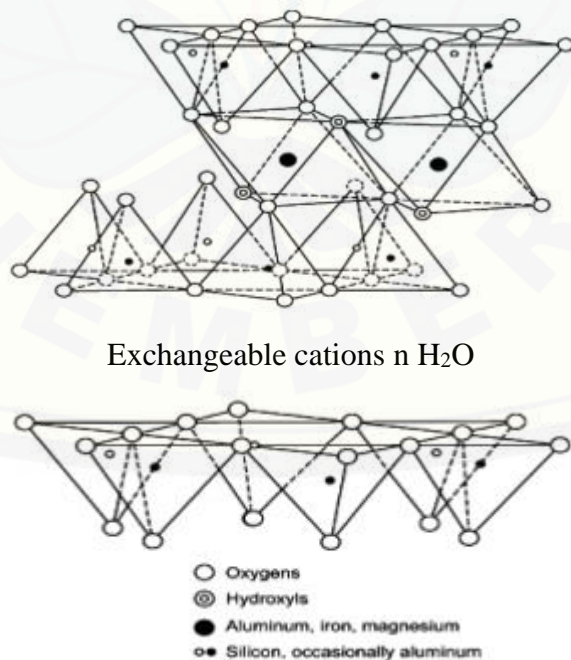
Lempung diklasifikasikan berdasarkan kandungan mineralnya dan bentuk kisiannya. Hal ini dibedakan menjadi dua tipe, yaitu tipe kisi 1:1 dan kisi 2:1



merupakan perbandingan lempung silika-tetrahedron dan lempung aluminat-oktahedron, Sedangkan berdasarkan kandungan mineralnya dikenal lempung dengan nama:

a. Montmorilonit

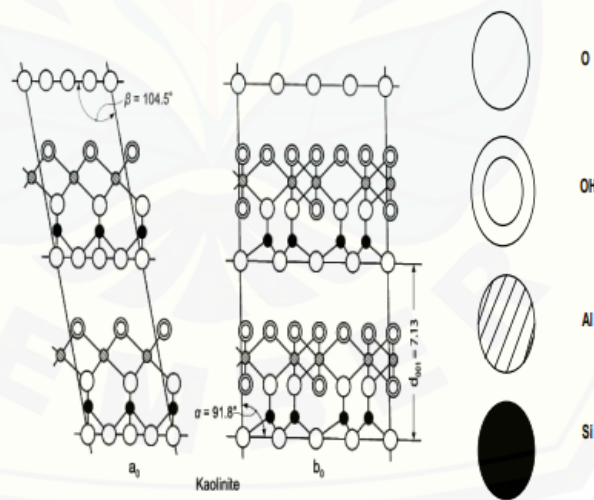
Montmorilonit adalah mineral yang memiliki spesies silikat alumina terhidrat dengan sedikit tersubstitusi dan merupakan mineral utama penyusun lempung. Jenis lempung ini paling banyak digunakan karena montmorillonit memiliki kemampuan untuk mengembang (*swelling*), memiliki kation-kation yang bisa ditukarkan (*exchangeable cation*) dan bisa diinteraksikan (*intercalated*) (Wijaya *et al.*, 2002). Montmorilonit dengan rumus umum secara teoritis  $(OH)_4Si_8Al_4O_{20}.nH_2O$ , dimana  $nH_2O$  merupakan air yang berada antar lapisan dengan satuan 1:2 (Auliah, 2009). Komposisi secara teori antar lapisan adalah  $SiO_2$  66,7%,  $Al_2O_3$  28,3% dan  $H_2O$  5%. Pada lapisan tetrahedral terdapat penggantian silikon menjadi aluminium hingga 15%. Montmorillonit memiliki kapasitas tukar kation yang tinggi dan kemampuan yang dapat mengembang bila basah atau juga menyusut bila kering. Struktur montmorillonite seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram struktur montmorillonite (Waruwu, 2017)

### b. Kaolinite

Struktur dasar mineral kalium (didalamnya termasuk adanya kaolinite, dickite, nacrite dan hallousite) meliputi satu lembar lapisan tetrahedral dan satu lembar lapisan oktahedral. Kedua lapisan ini bergabung membentuk sebuah unit dimana ujung-ujung dari lapisan silika tetrahedron bergabung dengan lapisan oktahedron. Semua puncak oksigen dari lapisan silika tetrahedron menunjukkan kea rah yang sama, sehingga gugus oksigen/hidoksil (muncul untuk mengimbangi muatannya), digunakan secara bersama oleh silikon pada lapisan tetrahedral dan oleh aluminium pada lapisan oktahedral. Rumus umum yakni  $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ . Memiliki komposisi secara teoritis yaitu  $\text{SiO}_2$  46,54%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  39,50% dan  $\text{H}_2\text{O}$  13,96%. Kaolinite terdiri dari lapisan tetrahedral silika yang berganti-ganti dengan satuan oktahedral alumina dengan tipe kisi 1:1 (Gambar 2.3). Mineral lainnya yakni haloisit (Bowles, 1989; Auliah, 2009). Tipe 1:1 merupakan kombinasi lapisan octahedral dan tetrahedral yang terus bersambung pada arah sumbu a dan b dan saling tumpang tindih pada arah sumbu c. memiliki ketebalan unit lapisan yaitu 7,13 Å.

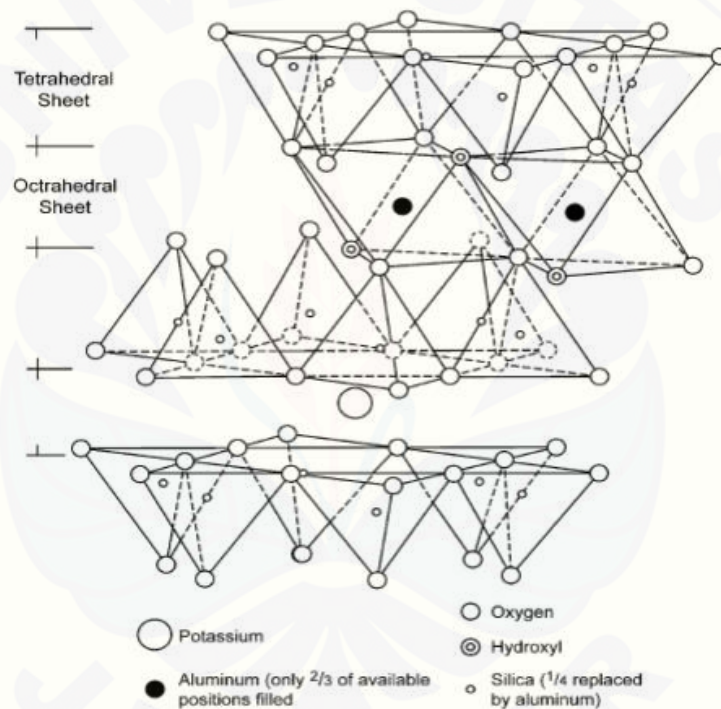


Gambar 2.3 Diagram struktur kaolinite (Waruwu, 2017)

### c. Illite

Illite adalah kelompok lempung yang pertama kali dijumpai di Illinois dengan rumus  $(\text{OH})_4\text{K}_y(\text{Si}_{8,y}\text{Al}_y)(\text{Al}_4\text{Mg}_6\text{Fe}_6)\text{O}_{20}$  dimana y bernilai antara 1 dan 1,5. Mineral lempung illite terdiri dari lapisan aluminium oktahedral yang terletak diantara dua lapisan silika tetrahedral (Bowles, 1989; Auliah, 2009). Memiliki

Struktur 2:1, dimana kation antar lapisannya adalah kalium. Muatan, ukuran dan bilangan koordinasi dari kalium menyesuaikan pada cincin heksagonal oksigen yang berbatasan dengan lapisan silika tetrahedral. Sehingga memberikan sambungan yang kuat dari ikatan ionic yang menahan tiap lapisan secara bersamaan pada strukturnya dan mencegah molekul air untuk mengisi posisi antar lapisan. Illite yang mengkristal mengalami penggantian  $\text{Si}^{4+}$  lebih sedikit menjadi  $\text{Al}^{3+}$  pada lapisan tetrahedral yaitu hanya  $1/6$  saja. Lapisan octahedral dapat juga terjadi penggantian ion  $\text{Al}^{3+}$  oleh  $\text{Mg}^{2+}$  dan  $\text{Fe}^{2+}$ . Memiliki jarak antar bidang  $d(001)$  dari illite yaitu 10 Å.



Gambar 2.3 Diagram struktur illite (Waruwu, 2017)

Lempung bentonit mempunyai struktur berlapis memiliki kemampuan mengembang (*swelling*) dan memiliki kation-kation yang dapat ditukarkan. Lempung tersebut sangat menarik digunakan sebagai media untuk diteliti (Katti, 2001). Kelemahan lempung bentonit yaitu kemampuan adsorpsinya terbatas. Kelemahan tersebut dapat diatasi melalui proses aktivasi menggunakan asam ( $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{HNO}_3$ ) sehingga dapat menghasilkan lempung dengan

kemampuan adsorpsi lebih tinggi. Asam sulfat adalah memiliki bilangan ekuivalen  $H^+$  lebih tinggi dibandingkan dengan asam lainnya. Aktivasi lempung menggunakan asam akan memperoleh lempung dengan situs aktif dan memiliki keasamaan permukaan lebih besar, sehingga akan memperoleh lempung dengan kemampuan adsorpsi lebih tinggi dibandingkan sebelum diaktivasi (Komadel, 2003).

#### 2.4 Morfologi Internal Material Adsorban

Morfologi permukaan dalam skala mikro dan nano material dapat digunakan SEM atau mikroskop electron. Teknik analisis SEM pada dasarnya menggunakan elektron sebagai sumber pencitraan dan medan elektromagnetik sebagai lensanya. Data ataupun tampilan yang diperoleh merupakan data dari permukaan atau dari lapisan yang tebalnya sekitar 20  $\mu m$  dari permukaan gambar. Gambar permukaan yang diperoleh merupakan gambar topografi dengan segala tonjolan dan lekukan permukaan. Gambar topografi permukaan diperoleh dari penangkapan elektron sekunder yang dipancarkan oleh spesimen.

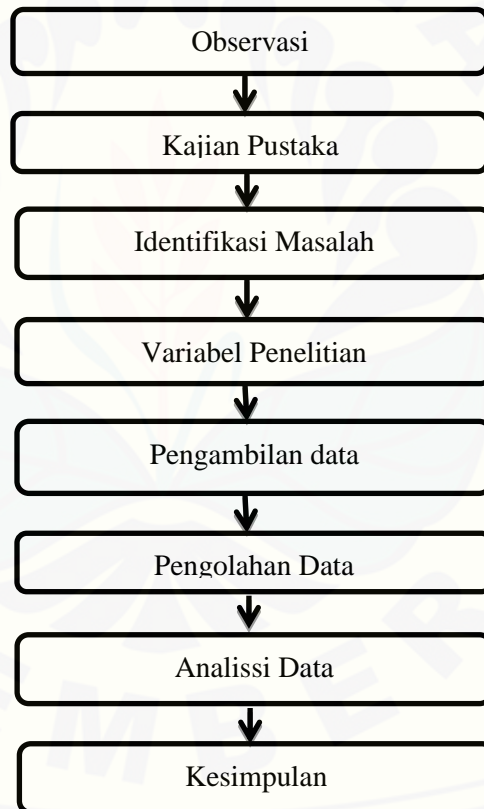
Perkembangan mutakhir paling berarti adalah perolehan informasi mengenai komposisi kimia. Mikroskopnya juga menggambarkan sebuah *energy Dispersive X-ray* (EDX) yang dapat digunakan untuk menentukan komposisi unsur dari sampel. Ketika sebuah sampel difoto oleh SEM, sinar elektron juga diemisikan oleh sinar-X yang dibawa oleh EDX. Emisi sinar-X tipe unsur khas dalam *energy* dan panjang gelombangnya, karena itu unit EDX mampu menentukan tiap unsur yang merespon emisi tersebut. Data ini dapat ditambahkan pada gambar SEM untuk menghasilkan sebuah peta unsur yang sebenarnya dari permukaan sampel (Zebua, 2015).

### BAB 3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian merupakan proses atau cara ilmiah untuk mendapatkan data yang akan digunakan untuk keperluan penelitian. Metode penelitian ini dijabarkan dalam bentuk rancangan penelitian, jenis dan sumber data, denifisi operasional variabel, metode analisis data dan kerangka pemecahan masalah.

#### 3.1 Rancangan penelitian

Skema rancangan penelitian secara garis besar ditampilkan dalam Gambar 3.1:



Gambar 3.1 Skema penelitian secara umum

Kegiatan penelitian diawali dengan studi permasalahan mengenai krisis air yang menjadi faktor utama penghambat kebutuhan sehari-hari. Review beberapa penelitian terkait dengan usaha-usaha desalinasi air laut, diantaranya adalah tentang aplikasi material adsorben sebagai bahan yang dapat mereduksi salinitas air laut menggunakan metode desalinasi dengan media pertukaran ion. Umumnya



banyak metode yang digunakan dalam proses desalinasi seperti distilasi, *reverse osmosis* (RO), pertukaran ion dan penguapan. Beberapa metode memiliki kelemahan, seperti metode *reverse osmosis* (RO) yang memiliki biaya yang mahal, metode distilasi dan penguapan, metode yang cukup sederhana, namun air yang dihasilkan sedikit. Sehingga digunakan metode pertukaran ion dengan menggunakan material adsorben zeolit, karbon aktif, dan lempung karena menghasilkan air lebih banyak dan biaya lebih terjangkau. Berdasarkan tinjauan literatur tersebut kemudian diperoleh permasalahan penelitian dan variabel penelitian, serta bagaimana penelitian tersebut akan dilakukan.

Pelaksanaan kegiatan penelitian diawali dengan tahap persiapan alat dan bahan. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah mortar, ayakan lolos 150 mesh dan 250 mesh, neraca analitik Ohaus, *beaker glass*, gelas ukur, pipet volume dan pipet tetes, labu ukur, *magnetic stirrer*, kertas *aluminum foil*, pengaduk, oven, pH meter, salinometer dan SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah larutan  $H_2SO_4$  teknis, aquades, air laut dan tiga jenis material adsorben yang terdiri dari zeolit alam, karbon aktif, lempung. Dimana air laut yang digunakan diperoleh dari daerah pantai Papuma, Kabupaten Jember.

Proses penyiapan bahan diawali dengan proses penggerusan material yang dilanjutkan dengan proses aktivasinya menggunakan larutan  $H_2SO_4$ . Tahap selanjutnya adalah pengujian material (zeolit, karbon aktif, dan lempung) yang sudah diaktivasi. Pengujian material dilakukan untuk melihat penurunan salinitas air laut. Penelitian yang dilakukan adalah membandingkan salinitas air laut sebelum dan sesudah diberi perlakuan menggunakan material. Data yang diperoleh dalam penelitian ini berupa grafik penurunan salinitas yang telah diaplikasikan dengan material pada variasi yang berbeda-beda, sehingga dapat diketahui material yang mampu menurunkan salinitas yang paling besar. Selanjutnya adalah karakterisasi SEM, dimana hasil yang akan diperoleh adalah data morfologi permukaan dan komposisi unsur.

Kegiatan penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus 2020 sampai Januari 2021, penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Bahan, Jurusan Fisika,



Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember. Adapun untuk karakterisasi SEM EDX dilakukan di Institut Teknologi Sepuluh November (ITS). Data yang sudah diperoleh dianalisis dengan berbagai macam sumber referensi. Dari hasil data yang dianalisa dapat ditarik kesimpulan dari permasalahan penelitian.

### **3.2 Jenis Data dan Sumber Data Penelitian**

Jenis data yang diperoleh pada penelitian ini berupa data kualitatif dan kuantitatif yang diperoleh langsung dari eksperimen. Data kualitatif berupa hasil foto SEM, sementara data kuantitatif diantaranya adalah data EDX material sorben dan data salinitas air laut. Sumber data dalam penelitian ini termasuk sumber data primer.

### **3.3 Definisi Operasional Variabel dan Skala Pengukuran**

#### **3.3.1 Variabel Penelitian**

Variabel yang akan diteliti dalam penelitian ini dikelompokkan dalam 3 jenis yaitu: variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol.

##### **a. Variabel Bebas**

Variabel bebas adalah variabel yang dapat berpengaruh dengan memberikan variasi. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah konsentrasi senyawa pengaktivasi larutan ( $H_2SO_4$ ), waktu kontak pada saat pengukuran salinitas air laut dan tiga material yaitu zeolit, karbon aktif, dan lempung.

##### **b. Variabel Terikat**

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat, karena adanya variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah reduksi salinitas air laut.

##### **c. Variabel Kontrol**

Variabel kontrol adalah yang dapat dikendalikan tanpa ada perubahan yang bisa dipertahankan. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah temperatur air laut selama eksperimen, volume air laut dan massa material adsorben.

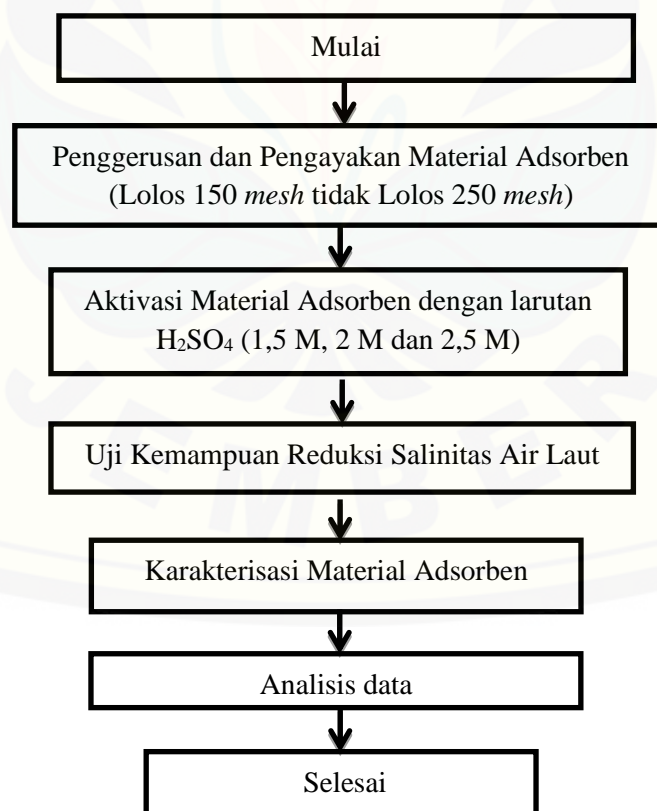
### 3.3.2 Skala Pengukuran

Skala pengukuran yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah rasio perbandingan. Perbandingan yang dimaksud adalah kemampuan reduksi salinitas air laut dari ketiga material yaitu zeolit alam, karbon aktif dan lempung, dengan perlakuan sebagai berikut:

- Air laut diberi zeolit dengan konsentrasi larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1,5 M, 2 M dan 2,5 M.
- Air laut diberi karbon aktif dengan konsentrasi larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1,5 M, 2 M dan 2,5 M.
- Air laut diberi lempung dengan konsentrasi larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1,5 M, 2 M dan 2,5 M.

### 3.4 Kerangka Pemecahan masalah

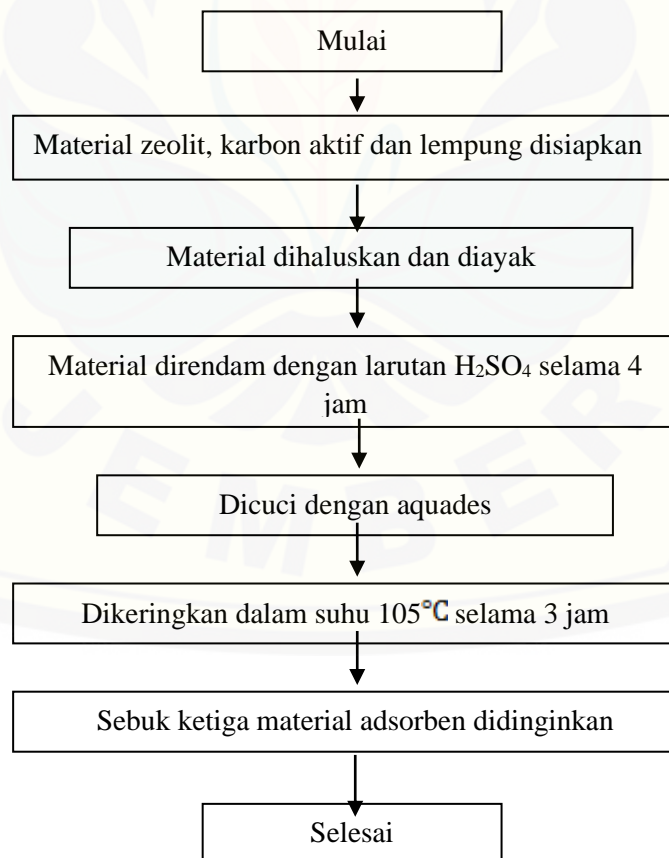
Kerangka pemecahan masalah dalam penelitian ini ditunjukkan dalam gambar diagram alir pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram alir kerangka pemecahan masalah

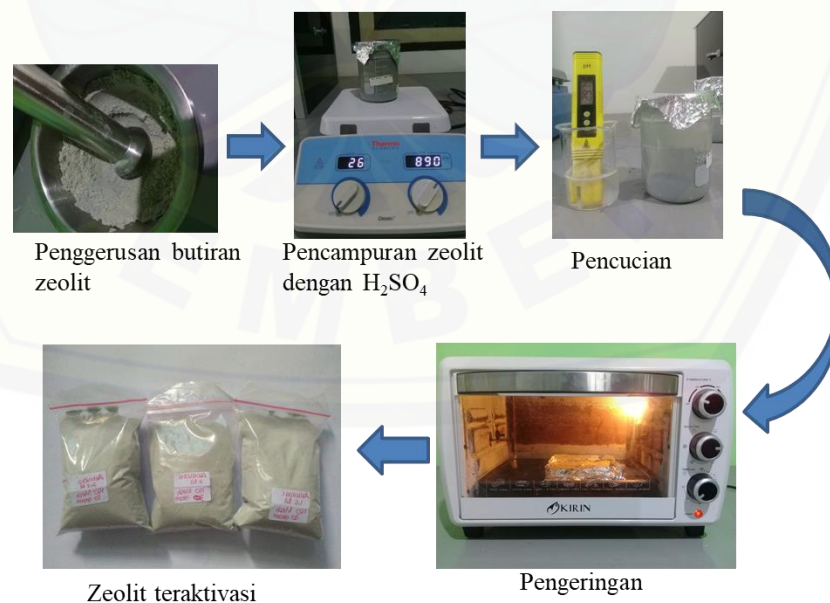
### 3.4.1 Tahap Aktivasi Material

Material adsorben merupakan material dengan pori yang saling terhubung. Proses aktivasi material adsorben dimaksudkan untuk membersihkan pori-pori material dari pengotor yang menyumbat pori, sehingga luas permukaan spesifik dari material meningkat. Bahan adsorben yang digunakan dalam penelitian yaitu zeolit yang berasal dari Kabupaten Malang bagian selatan, tepatnya di Kecamatan Sumbermanjing Wetan. Sementara itu karbon aktif diperoleh dari tempurung kelapa, serta lempung diperoleh dari Desa Sucopangepok, Kecamatan Jelbuk, Kabupaten Jember. Tiga material tersebut diproses untuk memperoleh material adsorben tanpa pengotor. Setelah semua bahan tersedia, langkah selanjutnya adalah proses penggerusan. Proses penggerusan dilakukan untuk memperluas permukaan material adsorben. Untuk membuat ukuran material homogen, maka material yang sudah digerus kemudian diayak dengan ukuran lolos 150 *mesh* dan tidak lolos 250 *mesh*. Proses lengkap aktivasi material dilihat pada Gambar 3.3.

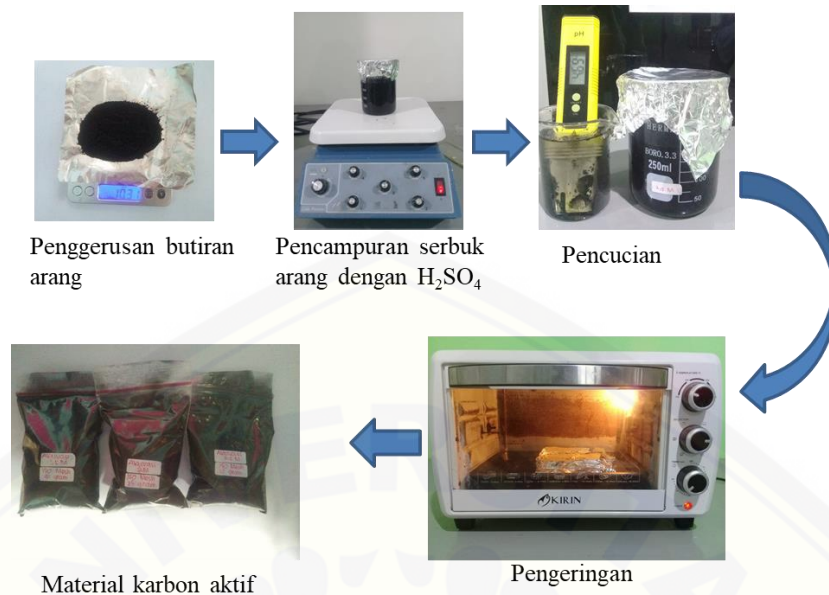


Gambar 3.3 Proses Aktivasi material adsorben

Setelah hasil pengayakan diperoleh dengan ukuran zeolit, karbon aktif, dan lempung sama, maka selanjutnya dilakukan pengenceran larutan  $H_2SO_4$ . Variasi konsentrasi larutan  $H_2SO_4$  yang digunakan yaitu 1,5 M, 2 M, dan 2,5 M yang dicampur dengan 250 ml aquades. Hasil dari pengenceran  $H_2SO_4$  selanjutnya digunakan untuk perendaman 100 gram ke masing-masing material zeolit, karbon aktif, dan lempung. Campuran material dengan larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam, waktu perendaman selama 4 jam. Kemudian campuran akan mengalami endapan, endapan dapat dipisahkan dengan disaring dan dicuci dengan aquades sampai pH netral. Pencucian ini dilakukan sebanyak 20 sampai 28 kali untuk memperoleh pH larutan yang netral. Setelah itu, sampel material adsorben yang dihasilkan tadi diletakkan dalam nampan untuk dikeringkan. Pengeringan dilakukan dengan cara dipanaskan dalam oven pada suhu  $105^{\circ}C$  selama 3 jam. Adapun proses selanjutnya setelah material mengering, akan dilakukan penggerusan kembali apabila bahan menempel. Hasil penggerusan yang diperoleh adalah berupa serbuk material, dimana serbuk material yang telah diaktivasi lalu dikemas dalam wadah dengan ditutup rapat ketika sudah mencapai suhu ruangan. Rangkaian proses aktivasi dari ketiga jenis material sorben dapat dilihat pada Gambar 3.4 sampai Gambar 3.5.



Gambar 3.4 Proses aktivasi zeolit



Gambar 3.5 Proses aktivasi karbon aktif



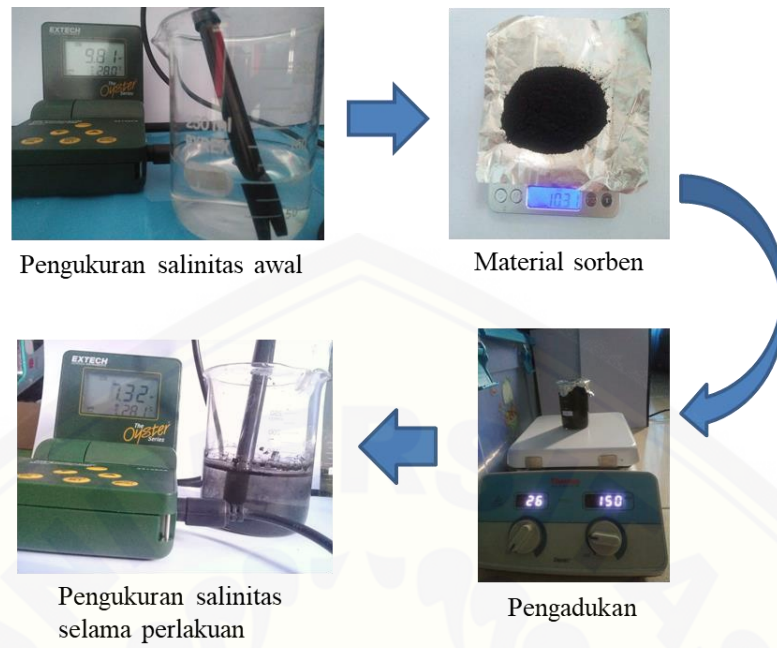
Gambar 3.6 Proses aktivasi lempung

#### 3.4.2 Uji coba material untuk reduksi salinitas air laut

Material adsorben (zeolit, karbon aktif, dan lempung) diaplikasikan untuk mereduksi salinitas dalam air laut. Terdapat perlakuan untuk membandingkan performa 3 jenis material adsorben yaitu air laut dengan material adsorben yang



diaktivasi dengan larutan  $H_2SO_4$  dengan 3 variasi konsentrasi yaitu 1,5 M, 2 M dan 2,5 M. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan material adsorben setelah diaktivasi. Uji material yang sudah diaktivasi dilakukan dalam sebuah eksperimen desalinasi air laut. Air laut yang digunakan diambil dari pinggir pantai Papuma Kabupaten Jember. Dikarenakan keterbatasan rentang pengukuran dari alat salinometer, maka air laut yang akan dijadikan obyek pengujian diencerkan terlebih dahulu. Proses pengenceran air laut dilakukan dengan cara mencampurkannya dengan 750 ml aquades untuk setiap 400 ml air laut, sehingga diperoleh nilai salinitas 9,90 ppt. Kegiatan ini ada 3 sampel eksperimen untuk setiap perlakuan material adsorben, sehingga secara keseluruhan ada 9 sampel eksperimen yang akan dilakukan. Percobaan desalinasi air laut akan dilakukan dalam sebuah *batch reactor* dimana 100 ml air laut dan 10 gram material adsorben dimasukkan bersamaan ke dalam *glass beaker* dan kemudian di *stirrer* secara *magnetic* dengan kecepatan 150 rpm selama 2 jam lalu diukur langsung menggunakan salinometer (Gambar 3.7). Selanjutnya didiamkan, setiap interval waktu 2 jam sehingga perubahan salinitas dapat diamati dalam air laut. Masing-masing sampel ini memiliki 11 data, mulai  $t(0)$ ,  $t(2)$ ,  $t(4)$ ,  $t(6)$ ,  $t(8)$ ,  $t(10)$ ,  $t(12)$ ,  $t(14)$ ,  $t(16)$ ,  $t(18)$ ,  $t(20)$  dan  $t(22)$ . Hal ini akan mengetahui terjadinya penurunan yang signifikan pada tiga jenis material tersebut dengan interval waktu yang diperlukan. Hasil yang diperoleh akan dibandingkan pada ketiga jenis material adsorben dengan perlakuan yang sama. Untuk material adsorben dengan aktivitas reduksi paling banyak kemudian dilakukan karakterisasi SEM EDX untuk mengetahui morfologi permukaan dan komposisi unsur dari material.



Gambar 3.7 Proses desalinasi air laut menggunakan material sorben

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Penelitian kemampuan material zeolit, karbon aktif, dan lempung untuk menurunkan salinitas air laut menghasilkan beberapa kesimpulan, sebagai berikut:

1. Konsentrasi  $H_2SO_4$  yang digunakan dalam proses aktivasi material sorben, mempengaruhi performa material tersebut dalam mereduksi salinitas air laut.
2. Ketiga jenis material sorben yang diteliti memiliki kemampuan untuk menurunkan salinitas air laut dengan aktivitas yang berbeda-beda. Karbon aktif yang diaktivasi  $H_2SO_4$  2 M menunjukkan performa yang paling baik. Dalam waktu 20 jam, 10 gram material ini mampu menurunkan salinitas dari 100 ml air laut (salinitas awalnya 9,90 ppt) sampai 67,9%.
3. Dibandingkan dengan sampel zeolit dan lempung, sampel karbon aktif memiliki morfologi permukaan yang lebih berpori dan lebih tidak rata yang diduga berkontribusi pada luas permukaan spesifik yang lebih besar. Sementara itu, berdasarkan analisis EDX diperoleh bahwa material yang digunakan adalah zeolit jenis mordenit dan lempung jenis montmorillonite.

### 5.2 Saran

Ada beberapa saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Perlu pengukuran luas permukaan spesifik dan volume pori dari material sorben, sehingga pembahasan lebih komprehensif.
2. Perlu pengukuran AAS untuk mengetahui unsur-unsur dari masing-masing material.
3. Perlu pengkajian lanjutan mengenai metode yang lebih efektif mengurangi salinitas air laut.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Adinata, M.R. 2013. Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang. *Jurnal Jurusan Teknik Kimia*.
- Aditya, R., E. Wibowo, dan M. Rohmat. Aktivasi Zeolit Alam Jenis *Clinoptilolite* Menggunakan Medan Listrik Searah untuk Meningkatkan Adsorptivitas Terhadap Ion Garam Dalam Air Laut. 2019. *Jurnal e-Proceeding of Engineering*. 6 (1).
- Augustine, J.R. 1996. *Heterogeneous Catalysis for the Synthetic. Chemist*, 1<sup>st</sup> Marcel Decker. Inc. New York.
- Auliah, A. 2009. Lempung Aktif Sebagai Adsorben Ion Fosfat dalam Air. *Jurnal Chemica*. 10 (2).
- Bahagiarti, S. 2010. *Air Adalah Kebaikan Alam dan Manfaatnya Bagi Tubuh*. <https://m.detik.com/health/berita-detikhealth/d-1511834/jumlah-air-layak-minum-di-bumi-kurang-dari-1-persen>. diakses pada 26 Maret 2019].
- Caroline, J., K. H. Putra dan M. E. D. C. Tavares. 2017. Pengolahan air Laut Menjadi Air Tawar dengan Menggunakan Karbon Aktif dari Akar Mangrove. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan V*.
- Destrina, Z. 2015. Prototype Alat Pengolahan Air Laut Menjadi Air Murni (Pengaruh Variasi Koagulan dan Packing Filter Terhadap Kualitas Air dengan Analisa TDS, DO, Salinitas dan Kandungan Logam  $Mg^{2+}$  dan  $Ca^{2+}$ ). *Laporan Akhir*. Sumatra: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Falahiyah. 2015. Adsorpsi *Methylene Blue* Menggunakan Abu dari Sabut dan Tempurung Kelapa Teraktivasi Asam Sulfat. *Skripsi*. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Fatthurrahmi. 2012. Analysis of Mineral Contents Ca, Mg, Fe and Na in Natural Bentonite Clay. *Jurnal Natural*. 12(1).

- Gustian, I. dan T. E. Suharto. 2005. Studi Penurunan Salinitas Air dengan Menggunakan Zeolit Alam yang Berasal dari Bengkulu. *Jurnal Gradien*. 1 (1): 38-42.
- Hafiz, S. Elystia dan Zultiniar. Pengaruh Aktivasi dalam Penurunan Kandungan (Pb) dalam Air Laut Menggunakan Tanah Lempung Sebagai Penukar Ion. *Jom FTEKNIK*. 2(1).
- Handoko, D. S. P. 2002. Pengaruh Perlakuan Asam Hidrotermal Dan Impregnsi Logam Kromium Pada Zeolit Alam Dalam preparasi Katalis. *Jurnal Ilmu Dasar* 3(2):103-109.
- Hartanto, S. dan Ratnawati. 2010. Pembuatan Karbon Aktif dari Temperung Kepala Sawit dengan Metode Aktivasi Kimia. *Indonesian Journal of Materials Science*. 12(1).
- Hasibuan, R. A. 2012. Modifikasi Zeolit Alam dengan TiO<sub>2</sub> untuk Mereduksi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.
- Heitmann, H.G. 1990. Saline Water Proces Rrocessing: Desalination and Treatment of Seawater, Brackish Water and Industrial Waste Water. *New York: VCH Publishing*.
- Idaman, S.D. 2003. Aplikasi Teknologi Osmosis Balik untuk Memenuhi Kebutuhan Air Minum di Kawasan Pesisir atau Pulau Terpencil. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 4(2): 15-34.
- Intarapong, P., S. Langthanasat, P. Patchiya, dan A. Luengnaruemitchai. 2013. Activity and Basic Properties of KOH/Mordenite for Transesterification of Palm Oil. *Journal of Enrgy Chemistry*. 22: 690-700.
- Irnaningsih. 2015. Desalinasi Air Laut Menggunakan Zeolit Aktivasi Asam Klorida (HCl) Di Puntondo Kabupaten Takalar dengan Metode Kolom Penukar Ion. *Skripsi*. Makassar. UIN Alauddin Makassar.



- Jayaprakash, M. C., P. Shetty, R. Aedla dan D. V. Reddy. 2017. Desalination Approach of Seawater and Brackish Water by Coconut as a Natural Filter Method. *Internasional Journa of earth Sciences and Engineering*. 10 (06).
- Kalogirou, S. A. 2004. Seawater Desalination Using Renewable Energy Sources. *Progress in Energy and Combution Science*. 31(3): 242-281.
- Katti, K. dan D. Katti. 2001. *Effect of clay-Water interactions on Swelling in Montmorillonite Clay*. Department of Civil Engineering and Construction North Dakota State University, Fargo.
- Khaidir. 2011. Modifikasi Zeolit Alam Sebagai Material Molecular Sieve dan Aplikasinya Pada Proses Dehidrasi Bioetanol. *Tesis*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Khairunnisa, U., S. Elystia dan Zultiniar. 2015. Efisiensi Penurunan ( $\text{Na}^+$ ) dan Klorida ( $\text{Cl}^-$ ) pada Air laut Menggunakan Tanah Lempung dengan Metode Penukar Ion. *JOM FTEKNIK*. 2(2).
- Komadell, P. 2003. Chemically Modified Smectites. *Slovak Academy of Sciences, Slovakia, Clay Mineral*. 38:127-138.
- Koyuncu, H. 2008. Adsorption Kinetics of 3-Hydroxybenzaldehyde on Native and Activated Bentonite. *Applied Clay Science*. 38:279-287.
- Kurniati, I. R., S. Elystia dan Zurtiniar. 2014. Efisiensi Penurunan Kadar Kalsium Pada Air Laut dengan Metoda Penukar Ion yang Memanfaatkan Tanah. *Jom FTEKNIK*. 1(2).
- Lestari, D. Y. 2010. Kajian Modifikasi dan Krakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara. *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia 2010 Jurdik Kimia UNY 54<sup>th</sup>*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.snaedi
- Muttaqin, J dan M. Sirait. 2015. Pembuatan Nanozeolit Alam Pahae Menggunakan Alat *Planetary Ball Milling*. *Jurnal Einstein*. 3(2): 45-50.

- Nontji, A. 2005. Laut Nusantara, *Cetakan Keempat*. Djambatan. Jakarta.
- Noviana, H. Horiza, G. D. N. Kusuma. 2018. Pengaruh Penggunaan Karbon Aktif Ampas Tebu Terhadap Penurunan Salinitas pada Sumur Gali di RT 003 RW 006 Kelurahan Tanjung Unggat Kota Tanjungpinang Tahun 2017. *Jurnal EKSAKTA*. 19(1).
- Nugrahaningtyas, K. D., D. M. Widjonarko, Daryani dan Y. Haryanti. Kajian Aktivasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Terhadap Proses Pemiliran Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Pada Lempung Alam Pacitan. *Jurnal Penelitian Kimia*.12(2): 190-203.
- Nugroho, W. dan S. Purwoto. 2013. Removal Klorida, TDS dan Besi Pada Air Payau Melalui Penukar Ion dan Filtrasi Campuran Zeolit Aktif dengan Karbon Aktif. *Jurnal Teknik*. 11 (01).
- Ortega, E. P., Roberto Leyva Ramos dan J. V. Flores Cano. 2013. Binary Adsorption of Heavy Metals from Aqueous Solution onto Natural Clays. *Chemical Engineering Journal*. 225 (12).
- Parassofia, G. 2017. Efektifitas Metode Desalinas Menggunakan Zeolit Teraktivasi pada Air Sumur Payau Daerah Pesisir. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Rahmawati, Eka. 2006. Adsorpsi Senyawa Residu Klorin pada Karbon Aktif Termodinamika Zink Klorida. *Skripsi*. Bogor: Fakultas MIPA.
- Ramoa, R. F. 1984. *Zeolit: Science and Technology*. Belgium: Martinus Nijhoff Publidhers.
- Rini, D. K., Fendy, A. L. 2010. Optimasi Aktivasi Zeolit Alam untuk Dehumidifikasi. *Skripsi*. Semarang: Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Sagita, F. E. 2018. Sintesis dan Karakterisasi TiO<sub>2</sub>/Zeolit Variasi Komposisi dengan Metode Sol-Gel. *Skripsi*. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

- Said, N. I. 2003. Aplikasi Teknologi Osmosis Balik untuk Memenuhi Kebutuhan Air Minum di Kawasan Pesisir Atau Pulau Terpencil: *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 4 (2): 15-34.
- Sembiring, M.T., dan T.S. Sanaga. 2003. Arang Aktif (Pengolahan dan Proses Pembuatannya). Sumatera Utara: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Shichi, T. Dan K. Takagi. 2000. Clay Mineral as Photochemical Reaction Fields. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* 1.113-130.
- Sidharta, R. 2016. *Bioteknologi Kelautan*, Cetakan 1. Yogyakarta: Cahaya Atma Pustaka.
- Sikaily, A. E., A. E. Nembr dan A. Khaled. 2011. Copper Sorption onto Dried Red Alga *Pterocladia capillacea* and its a Activated Carbon. *Chemical Engineering Journal* 168:707-714.
- Soegianto. 2005. Ilmu Lingkungan. Surabaya: Airlangga University Press.
- Sukoco, M. H. 2016. Model Unit Pengolahan Air Asin dengan Metode Filtrasi (Media Karbon Aktif Arang Bambu dengan Variasi Ketebalan 15 cm, 30 cm dan 45 cm). *Skripsi*. Yogyakarta. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Sukandarrumidi. 1999. *Bahan Galian Industri. Zeolit* Cetakan 1. Yogyakarta: Gajah Mada Press.
- Surest, A. H., J. A. F. Kasih dan A. Wisanti. 2008. Pengaruh Suhu, Konsentrasi Zat Aktivator dan Waktu Aktivasi Terhadap Daya Serap karbon Aktif dari Tempurung Kemiri. *Jurnal Teknik Kimia*. 15(2).
- Susanto, R. 2005. Dasar-dasar Ilmu Tanah Konsep dan Kenyataan. Yogyakarta: Kanisius.
- Sutarti dan Rahmawati. 1994. *Zeolit*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

- Sutarti, M. 1994. Zeolit Tinjauan Literatur. Jakarta.
- Trisunaryanti, W., Triwahyuni, E dan Sudiono, S. 2005. Preparasi, Modifikasi dan Karakterisasi Katalis Ni-Mo/Zeolit Alam dan Mo-Ni/Zeolit Alam. *Jurnal Teknoin*. 10: 269-282.
- Wajima, T., T. Shimizu, T. Yamato dan Y. Ikegami. 2015. Removal of NaCl from Seawater Using Natural Zeolite. *Jurnal Toxicological and Environmental Chemistry*. 92 (1).
- Walangare, K. B. A., A. S. M. Lumenta, J. O. Wuwung dan B. A. Sugiarto. 2013. Rancang Bangun Alat Konversi Air Laut menjadi Air Minum dengan Proses Destilasi Sederhana Menggunakan Pemanas Elektrik. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*.
- Waruwu, F. 2017. Pengaruh Variasi Campuran dan Holding Time Terhadap Keramik Berpori Berbahan Dasar Tanah Lempung dan Arang Aktif Sebagai Filter Uap Air. *Skripsi*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Wibisono, M. S. 2004. Pengantar Ilmu Kelautan. Jakarta: PT. Grasindo.
- Wibowo, E., M. Rokhmat, Sutrisna, R. Murniati, Khairurrijal dan M. Abdullah. 2015. Thermally Activated Clay to Compete Zeolite for Seawater Desalination. *Advanced Material Research* 1112: 154-157.
- Wibowo, E., M. Rokhmat, Sutrisna dan R. Murniati. 2017. Utilization of Natural Zeolite as Sorbent Material For Seawater Desalination. *Engineering Physics Internasional Conference* 170: 8-13.
- Wibowo, E., M. Rokhmat, Sutrisna, Khairurrijal dan M. Abdullah. 2017. Pengembangan Material Sorben Berbasis Zeolite dan Clay Alam sebagai Media Desalinasi Air laut. *Jurnal Matematika dan Sains*. 22: 37-41.

Wijaya, K., A. S. Pratiwi, S. Sudiono, dan E. Nurahmi. 2002. Study of Thermal and Acid Stability of bentonite Clay. *Indonesian journal of Chemistry* 2(1):22-29.

Zebua, F. 2015. Pemanfaatan Zeolit Alam paha modifikasi sebagai Filter Uap Air Pada Proses Elektrolisa. *Tesis*. Medan: Universitas Sumatera Utara.

Zhan, Y., Lin J. dan Zhu Z. 2011. Removal of Nitrate from Aqueous Solution Using Cetylpyridinium Bromide (CPB) Modified Zeolite As Adsorbent. *J Hazard Mater* 186(2-3).

