



# MATERIAL LAHAN BASAHA

Isna Syauqiah  
Muthia Elma  
Awali Sir Kautsar  
Harivram



# MATERIAL LAHAN BASA

## **Penulis:**

Isna Syauqiah

Muthia Elma

Awali Sir Kautsar Harivram

## **Editor:**

Erdina Lulu Atika Rampun

Diterbitkan oleh: **Lambung Mangkurat University Press, 2023**  
d/a Pusat Pengelolaan Jurnal dan Penerbitan (PPJP) ULM  
Lantai 2 Gedung Perpustakaan Pusat ULM  
Jl. Hasan Basri, Kayutangi, Banjarmasin 70123  
Telp/Fax. 0511-3305195  
**ANGGOTA APPTI (004.035.1.03.2018)**

### **Hak cipta dilindungi oleh Undang-undang**

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit, kecuali untuk kutipan singkat demi penelitian atau resensi  
i-xvii + 151 halaman 15,5 x 23, cm  
Cetakan pertama, Maret 2023

**ISBN : .....**

# PRAKATA

Lahan basah menurut konvensi Ramsar meliputi daerah rawa, payau, lahan gambut dan perairan alami atau buatan; tetap atau sementara; dengan air yang tergenang atau mengalir, tawar, payau atau asin; termasuk wilayah perairan laut yang kedalamannya tidak lebih dari enam meter pada waktu air surut. Lahan basah adalah jenis ekosistem yang jenuh dengan air di seluruh tahun memiliki berbagai fungsi ekosistem di lingkungan. Lahan basah terdiri dari komponen abiotik dan biotik dan berfungsi secara alami sebagai reservoir makanan, tempat tinggal, dan habitat bagi komunitas biologis.

Namun degradasi lahan basah rupanya tidak dapat dihindari. Lahan basah sebagian besar dimanfaatkan untuk kelapa sawit, karet, perikanan, peternakan, pangan pertanian, industri, perumahan, rekreasi, pusat perbelanjaan dan lain-lain. Perubahan dalam penggunaan lahan basah sebagian besar karena campur tangan manusia. Kebijakan dan konsep perencanaan pemanfaatan lahan basah sering dilakukan hanya untuk keuntungan ekonomi. Penyebab utama hilangnya lahan basah adalah reklamasi, kebijakan yang salah arah dan penggunaan lahan yang salah, serta drainase dan irigasi yang berlebihan.

Padahal jika digunakan secara bijaksana, material lahan basah terbukti banyak dimanfaatkan terutama dalam pengolahan air karena ekosistemnya yang beragam. Material lahan basah ini dapat dimanfaatkan menjadi adsorben, membrane, komposit, filtrasi dan lahan basah buatan. Dengan menggunakan material yang tersedia

di lahan basah membuat bahan baku menjadi lebih ramah lingkungan dan ketersediaanya mudah didapat. Diantara semuanya, lahan basah buatan sering menarik perhatian para peneliti sebagai teknologi yang ramah lingkungan dan tidak perlu biaya tinggi dibandingkan teknologi pengolahan air lain. Secara fisik lahan basah buatan adalah lahan basah rekayasa dengan substrat, biofilm, makrofita sebagai komponen kunci yang berperan penting dalam menurunkan kontaminan ketika air limbah melewatinya.

Didalam buku ini akan menjabarkan tentang definisi lahan basah, ekosistem lahan basah, material lahan basah yang sudah pernah diteliti dalam upaya pengolahan air, dan pengaplikasiannya secara lebih rinci, serta peluang dan tantangan dalam pengembangannya. Mengingat Indonesia sendiri memiliki wilayah lahan basah yang luas, menjadikan informasi didalam buku ini penting untuk diulas.

Diharapkan dengan adanya buku “Material Lahan basah” ini dapat memberikan informasi tentang pemanfaatan material di lahan basah secara spesifik. Buku ini ditujukan untuk semua kalangan terutama mahasiswa. Diharapkan pembaca buku ini membaca utuh buku secara berurutan, agar memudahkan dalam memahaminya. Penulis juga berharap agar buku ini dapat bermanfaat bagi yang memerlukannya.

**Tim Penulis**

# KATA PENGANTAR EDITOR

**B**uku dengan judul: “Material lahan basah” ini ditulis dan disusun oleh penulis dengan tujuan agar menambah pengetahuan dan khasanah ilmu terutama dibidang lahan basah. Lahan basah memiliki berbagai fungsi seperti sumber makanan, pakan, tempat berlindung, dan habitat karena hidrologi kompleks, siklus nutrisi, dan kehadiran di daerah perkotaan dan area yang tidak terkelola. Akan tetapi degradasi lahan basah terus berlangsung. Penyebab langsung hilangnya lahan basah meliputi: salinisasi, pengayaan nutrisi, polusi pestisida dan logam berat, dan invasi flora dan flora eksotis. Selain itu, perubahan lingkungan dan perburukan akibat antropogenik menyebabkan bencana banjir, kekeringan, gempa bumi, pemanasan global, dan suhu tinggi dan menyebabkan degradasi ekosistem lahan basah parah. Oleh karena itu pengetahuan akan pengenalan lahan basah, material lahan basah, aplikasi lahan basah serta peluang dan tantangan dalam pengembangan aplikasi lahan basah harus di kenalkan.

Lahan basah telah banyak dimanfaatkan terutama dalam proses pengolahan air dan air limbah. Beberapa material lahan basah dapat diolah menjadi adsorben, membran, komposit, filtrasi dan lahan basah buatan. Teknologi ini akan menghasilkan air bersih yang layak untuk digunakan masyarakat.

Tema lahan basah yang diangkat dari buku ini merupakan bidang keahlian dari penulis, sehingga pembaca akan merasakan

begitu detailnya ilmu yang akan didapat. Tulisan-tulisan yang ada di buku ini banyak diambil dari hasil-hasil penelitian penulis yang telah diterbitkan pada jurnal nasional ataupun internasional. Ikhtisar dari buku ini yaitu lahan basah, material dan aplikasinya untuk pengolahan air. Berbagai pemanfaatan material lahan basah yang pernah diteliti oleh penulis telah dirangkum dan dijelaskan yang kemudian menjadi isi dari buku ini.

Isi buku ini akan merangsang pikiran pembaca mengenai bagaimana pengolahan air dapat dilakukan dengan pemanfaatan material lahan basah. Target pembaca dari buku ini yaitu bukan hanya dari dosen, peneliti, dan mahasiswa tetapi juga dari pihak industri.

Buku “Material Lahan basah” ini bertujuan untuk menambah khasanah ilmu yang secara spesifik berhubungan dengan teknologi pengolahan air memanfaatkan material di lahan basah. Buku ini pun sudah melalui proses editing sesuai yang dipersyaratkan UU No 3 Tahun 2017.

**Editor**

# DAFTAR ISI

---

<b>PRAKATA .....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR EDITOR .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>viii</b>
<b>SINOPSIS .....</b>	<b>x</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN LAHAN BASAH DAN MATERIALNYA ....</b>	<b>1</b>
1.1 Pendahuluan .....	1
1.2. Lahan Basah .....	2
1.3 Material-Material Lahan Basah .....	8
1.3.1 Adsorben.....	8
1.3.2 Membran .....	<b>39</b>
1.3.3 Komposit .....	53
1.3.4 Filtrasi .....	69
1.3.5. Lahan Basah Buatan .....	79
<b>BAB II APLIKASI MATERIAL LAHAN BASAH .....</b>	<b>96</b>
2.1 Pengolahan Air .....	96
2.1 Pengolahan Air .....	96
2.1.1. Pengolahan Air Menggunakan Adsorben Berbasis Lahan Basah .....	97
2.1.2. Pengolahan Air Menggunakan Membran Berbasis Lahan Basah .....	103

2.1.3. Pengolahan Air Menggunakan Filtrasi Berbasis Lahan Basah .....	108
2.2 Pengolahan Air Limbah .....	111
2.2.1 Pengolahan Air Limbah Menggunakan Karbon Aktif Berbasis Lahan Basah .....	111
2.2.2. Pengolahan Air Limbah Menggunakan Membran Berbasis Lahan Basah .....	114
2.2.3 Pengolahan Air Limbah Menggunakan Filtrasi Berbasis Lahan Basah .....	120
<b>BAB III PELUANG DAN TANTANGAN DALAM PENGEMBANGAN APLIKASI MATERIAL LAHAN BASAH .....</b>	<b>123</b>
<b>BAB IV PENUTUP .....</b>	<b>131</b>
<b>ACKNOWLEDGEMENT .....</b>	<b>133</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>136</b>

# SINOPSIS

Lahan basah menurut konvensi Ramsar meliputi daerah rawa, payau, lahan gambut dan perairan alami atau buatan; tetap atau sementara; dengan air yang tergenang atau mengalir, tawar, payau atau asin; termasuk wilayah perairan laut yang kedalamannya tidak lebih dari enam meter pada waktu air surut. Ekosistem lahan basah yang beragam dapat dimanfaatkan untuk pembuatan adsorben, membrane, komposit, filtrasi dan penerapan teknologi lahan basah buatan. Biomassa lahan basah juga mengandung bahan lignoselulosa yang serupa dengan biomassa pertanian dengan komposisi unsur utama karbon, hidrogen, oksigen, dan nitrogen.

Berbagai kandungan di dalam material lahan basah dapat dijadikan pertimbangan untuk mengetahui potensinya dalam pemanfaatan teknologi tertentu. Mulai dari eceng gondok yang mengandung banyak selulosa asetat, kulit pisang yang memiliki kandungan pektin tinggi, nipah yang bisa dijadikan material karbon sampai purun tikus yang mampu menyerap kontaminan. Semua dikupas secara tuntas di dalam buku ini.

Selain itu, pengaplikasian material lahan basah untuk pengolahan air dan air limbah juga dijabarkan. Beberapa penelitian membuktikan keunggulan-keunggulan material lahan basah yang patut diperhitungkan guna menghasilkan air bersih atau bahkan air

minum. Ditambah lagi, material lahan basah bisa menjadi material yang ramah lingkungan..

Buku ini dirangkum secara komprehensif sebagai buku yang mampu memberikan gambaran secara menyeluruh mengenai material lahan basah. Buku ini juga merupakan kompilasi dari berbagai buku, jurnal penelitian nasional dan internasional yang relevan dan aktual. Menyajikan perkembangan pemanfaatan material lahan basah baik pada skala lab maupun skala pilot plant.

Sehingga buku ini sangat cocok untuk kalangan mahasiswa yang ingin mendalami bidang lahan basah. Buku ini akan membawa pembaca mengenal lebih jauh apa itu lahan basah, material yang bisa dimanfaatkan dan pengaplikasiannya. Lebih jauh lagi pembaca akan diajak mengenal bagaimana peluang dan tantangan dalam pengembangannya sehingga dapat menjadi referensi.

# BAB I

## PENDAHULUAN LAHAN BASAH DAN MATERIALNYA

---

### 1.1 Pendahuluan

Air merupakan sumber daya yang penting bagi semua makhluk hidup. Oleh karena itu, penggunaan air dan suplainya dari sumber sangat penting. Lahan basah merupakan ekosistem dari mangrove hingga lahan gambut subarktik yang berpengaruh bagi kehidupan manusia. Peradaban paling awal didirikan di dekat sungai, danau, dan dataran banjir. Ini menunjukkan pentingnya air dan lahan basah. Fakta bahwa orang-orang berada di wilayah ini merupakan cerminan betapa pentingnya keanekaragaman hayati. Oleh karena itu, lahan basah merupakan ekosistem yang sangat kritis, dan beberapa di antaranya merupakan habitat yang paling produktif.

Lahan basah adalah sistem yang sensitif secara ekologis dan memberikan banyak manfaat penting bagi populasi manusia. Produksi primer adalah fondasi bagi semua makhluk hidup

sistem, baik alam maupun manusia. Bahan organik dalam ekosistem lahan basah sebagian besar berasal dari produksi alga dan tanaman di dalam sistem (produksi asli) daripada input dari sumber eksternal. Produktivitas rawa-rawa bervariasi mulai dari sangat produktif hingga rawa produktivitas yang lebih rendah.

Lahan basah yang sangat produktif adalah salah satu ekosistem paling produktif di Bumi dan dapat menyamai produktivitas terumbu karang atau hutan hujan. Produktivitas akan tergantung pada sifat umum sistem dan kondisi lokal seperti suhu, geologi, tanah dan air kimia, dan keanekaragaman hayati. Banyaknya sumber makanan yang ditemukan di lahan basah yang produktif membuat lahan basah berharga sebagai sumber daya untuk banyak spesies hewan. Untuk alasan ini, produktivitas lahan basah mungkin memainkan peran penting dalam kehidupan hewan di sistem hutan dan padang rumput yang berdekatan dan hilangnya lahan basah dapat menyebabkan penurunan populasi hewan dalam sistem tersebut. Dalam kasus spesies migran seperti unggas air yang memiliki habitat di lahan basah, produktivitas lahan basah lokal mungkin berdampak besar.

Evaluasi lahan basah dengan perspektif multidisiplin ilmu alam dan ilmu sosial memberikan hasil yang efisien. Perspektif ini dapat memberikan peningkatan pemahaman tentang proses dan masalah yang terkait dengan strategi tersebut. Jelas bahwa lahan basah mengekspos nilai ekonomi yang penting (tergantung pada analisis biaya-manfaat), akan tetapi lahan basah saat ini banyak menghadapi tantangan. Alasan hilangnya dan kerusakan lahan basah berimplikasi pada penggunaan berlebihan, degradasi lahan,

urbanisasi, polusi, perubahan iklim, penurunan keanekaragaman biotik, dan spesies invasif. Karena lahan basah adalah sistem multifungsi yang kompleks, mereka cenderung menjadi yang paling bermanfaat jika dilestarikan sebagai ekosistem terpadu (dalam suatu daerah tangkapan air) daripada bagian-bagian komponen individualnya(Gokce, 2019).

## **1.2. Lahan Basah**

Definisi lahan basah telah lama diperdebatkan, sebagian karena keragaman lingkungan yang secara permanen atau musiman dipengaruhi oleh air tetapi juga karena spesifik persyaratan dari beragam kelompok orang yang terlibat dengan studi dan pengelolaan habitat ini.

Maka, pada tahun 1971 dibuatlah sebuah kesepakatan dari sebuah konvensi yang membahas mengenai kepedulian terhadap lahan basah. Nama konvensi ini dikenal dengan istilah "Konvensi Ramsar". Awalnya, Konvensi Ramsar berfokus pada unggas air dan burung migran, tetapi konservasi lahan basah dianggap lebih penting dalam pengembangannya, dan kelengkapan keanekaragaman hayati yang berkaitan dengan pemanfaatan lahan basah secara bijak. Tujuan utama Konvensi ini adalah untuk mencegah invasi dan perusakan lahan basah. Hal ini meningat lahan basah adalah ekosistem yang rapuh dan sensitif yang sangat bergantung pada bagaimana digunakan dan dilestarikan.

Pada tahun 2018, terdapat 2.303 situs Ramsar Wetlands seluas 228 juta hektar, dimana terdaftar oleh 169 negara dari 6 anggota Ramsar Region, yakni: Afrika, Asia, Eropa,, Amerika Latin,

Karibia, Amerika Utara dan Oseania. Indonesia sendiri yang wilayahnya didominasi oleh lahan basah, telah menjadi anggota Konvensi Ramsar dengan mengusulkan Taman Nasional Belbak di Jambi sebagai lahan basah Konvensi Ramsar.

Saat ini Indonesia memiliki tujuh lahan basah Konvensi Ramsar seluas 1.424.976 hektar. Ketujuh situs tersebut termasuk:

- Taman Nasional Berbak (TN) yang luasnya mencapai 162.700 hektar

- TN Danau Centalm (Kalimantan Barat) seluas 132.000 hektar;

- Taman Nasional Wasur (Papua) dengan luas 413.810 hektar;

- TN Sembilan (Sumatera Selatan) seluas 202.896 hektar

- TN Rawa Aopa-Watumohai (Sulawesi Tenggara) seluas 105.194 hektar

- Suaka Margasatwa Pulau Rambut (DKI Jakarta); seluas 90 hektar;

- Taman Nasional Tanjung Puting (Kalimantan Tengah) seluas 408.286 hektar. Biologi dan ekologi ekosistem gambut. Kekayaan lahan basah Tanjung Putting didominasi oleh hutan rawa gambut dan mangrove.

(Anggara, 2018)

Isi dari Konvensi Ramsar pasal 1 ayat (1) yaitu definisi dari “lahan basah meliputi daerah rawa, payau, lahan gambut dan perairan alami atau buatan; tetap atau sementara; dengan air yang tergenang atau mengalir, tawar, payau atau asin; termasuk wilayah perairan laut yang kedalamannya tidak lebih dari enam meter pada waktu air surut.”.

Definisi ini menekankan pentingnya ekologi lahan basah. Namun, proses pemurnian air alami yang terjadi dalam sistem ini menjadi semakin relevan bagi orang-orang yang terlibat dengan penggunaan praktis lahan basah untuk pengolahan air limbah. Tidak ada definisi ekologis tunggal yang diterima tentang lahan basah. Lahan basah dicirikan sebagai berikut (Headquarters, 2000):

- Terdapat air.
- Tanah unik yang berbeda dengan tanah dataran tinggi.
- Adanya vegetasi yang beradaptasi dengan kondisi jenuh

Menurut Konvensi Ramsar, ekosistem lahan basah diklasifikasikan menjadi lima kawasan, yaitu:

- 1) Kawasan laut (marine): meliputi kelompok lahan basah yang berair asin, pesisir dan laguna (coastal wetlands including coastal lagoons), termasuk pantai berbatu (rocky shores), terumbu karang (coral reefs) dan padang lamun (seagrass beds);
- 2) Kawasan muara (estuarine): muara sungai, delta (deltas), rawa pasang surut yang berair payau (tidal marshes) dan hutan bakau (mangrove swamps);
- 3) Kawasan rawa (palustrin): meliputi daerah yang bersifat rawa (berair tergenang atau lembab), misalnya hutan rawa air tawar, hutan rawa gambut dan rawa rumput ("marshy"- marshes, swamps and bogs);
- 4) Kawasan danau (lakustrin): meliputi semua lahan basah yang berhubungan dengan danau (wetlands associated with lakes) dan biasanya berair tawar;

5) Kawasan sungai (riverin): meliputi lahan basah yang terdapat di sepanjang sungai atau perairan yang mengalir (wetlands along rivers and streams).

Letak lahan basah yang sering terletak di zona transisi antara ekosistem perairan dan ekosistem darat, fluktuasi hidrologisnya tidak dapat dihindari. Meskipun secara umum dikenal tahan terhadap perubahan, lahan basah mungkin masih sangat rentan terhadap perubahan hidrologi, terutama jika perubahan ini diperburuk oleh sumber gangguan lain seperti perubahan iklim, polusi, urbanisasi, dan perubahan penggunaan lahan.

Lahan basah riparian adalah ekosistem yang dipengaruhi oleh sungai atau aliran yang berdekatan. Definisi singkatnya adalah sebagai berikut:

Zona riparian adalah area yang berada sebagai transisi antara ekosistem darat dan akuatik. Sebagai ekoton, mereka mencakup gradien tajam dari faktor lingkungan, proses ekologi dan sejumlah tanaman. Zona riparian tidak mudah digambarkan tetapi terdiri dari bentang alam, komunitas, dan lingkungan dalam gambaran yang lebih besar.

Ada empat alasan utama mengapa banjir periodik, yang merupakan tipikal riparian lahan basah, berkontribusi pada produktivitas yang lebih tinggi yang diamati dibandingkan dengan dataran tinggi yang berdekatan ekosistem:

- Ada pasokan air yang cukup untuk tumbuh-tumbuhan.
- Nutrisi dipasok dan digabungkan dengan perubahan kimia tanah yang menguntungkan (misalnya nitrifikasi, reduksi sulfat, dan mineralisasi nutrisi).

-Dibandingkan dengan kondisi air yang tergenang, zona akar yang lebih teroksigenasi mengikuti banjir.

-Produk limbah (misalnya karbon dioksida dan metana) dihilangkan dengan 'pembilasan' berkala.

Siklus hara pada lahan basah riparian dapat digambarkan sebagai berikut:

-Siklus nutrisi 'terbuka' karena efek banjir sungai, limpasan dari lingkungan lereng atas atau keduanya (tergantung pada musim dan aliran masuk atau jenis sungai).

-Hutan riparian memiliki pengaruh besar pada interaksi biotik dalam nutrisi intrasistem siklus. Pola musiman pertumbuhan dan pembusukan sering kali cocok dengan nutrisi yang tersedia.

-Air yang bersentuhan dengan dasar tanah hutan menyebabkan transformasi nutrisi penting. Oleh karena itu, lahan basah riparian dapat bertindak sebagai penyerap unsur hara yang masuk ke sistem sebagai limpasan dan/atau aliran air tanah.

-Lahan basah riparian sering tampak sebagai pengubah nutrisi, mengubah masukan bersih dari nutrisi anorganik ke output bersih dari bentuk organik yang sesuai.

Siklus nitrogen dalam lingkungan aliran-dataran banjir yang beriklim sedang menjadi perhatian khusus bagi para insinyur ekologi. Selama musim dingin, banjir berkontribusi pada akumulasi nitrogen organik terlarut dan partikulat yang tidak diasimilasi oleh pohon karena dormansinya. Fraksi nitrogen ini disimpan oleh alga

berfilamen dan melalui imobilisasi oleh detritivora di lantai hutan. Saat air hangat di musim semi, nitrogen dilepaskan dengan dekomposisi dan naungan ganggang berserabut oleh kanopi pohon yang sedang berkembang. Nitrat kemudian diasumsikan tidak bergerak dalam serasah yang membusuk dan secara bertahap tersedia bagi tanaman. Saat vegetasi meningkat, tanaman mengambil lebih banyak nitrogen dan tingkat air turun karena evapotranspirasi. Tingkat amonifikasi dan nitrifikasi meningkat dengan paparan sedimen ke atmosfer. Nitrat yang dihasilkan dalam nitrifikasi hilang ketika denitrifikasi menjadi lazim karena banjir di akhir tahun menciptakan kondisi anaerobik.

Dalam hal mengurangi efek eutrofikasi perairan terbuka oleh limpasan, penggunaan riparian zona penyangga, khususnya *Alnus incana* (grey alder) dan *Salix* sp. (willow) bersamaan dengan rumput abadi telah direkomendasikan (Mander, Kuusemets, & Ivask, 1995). Zona riparian juga disebut riparian sistem penyangga hutan (Lowrance et al., 1997). Zona seperti itu ditemukan untuk mengurangi aliran nutrisi ke sungai.

Peran ekosistem riparian dalam transformasi nutrisi secara khusus penting dalam kaitannya dengan produksi gas rumah kaca nitrous oxide ( $N_2O$ ). Karena arus masuk yang berlebihan nitrogen pertanian ke dalam sistem lahan basah, zona riparian, khususnya, cenderung 'panas' spot' untuk produksi nitrous oxide (Groffman, Gold, & Addy, 2000). Pengendalian pencemaran sumber non-titik dapat berhasil dicapai dengan hutan riparian penyangga di beberapa daerah aliran sungai pertanian dan paling efektif jika curah hujan berlebih bergerak melintasi, di dalam atau di dekat zona akar

penyangga hutan riparian. Misalnya, antara 50 dan Retensi 90% dari total pemuatan nitrat di air tanah dangkal dan sedimen tunduk pada limpasan permukaan di Teluk Chesapeake, AS, DAS diamati. Dibandingkan, retensi fosfor ditemukan umumnya jauh lebih sedikit (Lowrance et al., 1997).

### **1.3 Material-Material Lahan Basah**

Material – material lahan basah dapat diartikan sebagai material yang diproduksi dengan menggunakan bahan baku yang berasal dari lahan basah baik berupa biomassa atau senyawa organik maupun mineral-mineral anorganik.

#### **1.3.1 Adsorben**

Pemisahan dapat didefinisikan sebagai proses yang mengubah campuran zat menjadi dua atau lebih produk yang berbeda satu sama lain dalam komposisi. Prosesnya sulit dicapai karena kebalikan dari pencampuran, sebuah proses disukai oleh hukum kedua termodinamika. Oleh karena itu, langkah-langkah pemisahan sering memperhitungkan biaya produksi utama dalam industri kimia, petrokimia, dan farmasi. Untuk banyak proses pemisahan, pemisahan disebabkan oleh: agen pemisah massa. Zat pemisah massa untuk adsorpsi adalah penyerap, atau sorben. Akibatnya, kinerja setiap pemisahan adsorptive atau proses pemurnian secara langsung ditentukan oleh kualitas sorben.

Karena kemajuan yang dibuat dalam pengembangan proses sorben dan siklik, adsorpsi telah menjadi alat pemisahan utama yang digunakan secara luas dalam industri. Adsorpsi biasanya dilakukan dalam kolom yang dikemas dengan partikel sorben, atau

penyerap unggul tetap. Daya pisah yang tinggi dari kromatografi yang dicapai dalam kolom adalah keuntungan unik dari adsorpsi dibandingkan dengan proses pemisahan lainnya. Daya pisah yang tinggi disebabkan oleh kontak yang terus menerus dan keseimbangan antara fase fluida dan sorben. Dalam kondisi bebas dari batasan difusi, setiap kontak setara dengan tahap kesetimbangan atau piring teoritis. Biasanya beberapa ratus hingga beberapa ribu keseimbangan seperti itu tahapan dapat dicapai dalam kolom pendek. Dengan demikian, adsorpsi sangat cocok untuk aplikasi pemurnian serta pemisahan yang sulit. Sebagian karena ini keuntungan unik, adsorpsi berada pada posisi yang baik untuk memainkan peran kunci dalam pengembangan banyak energi masa depan dan teknologi lingkungan (R. T. Yang, 2003).

Baru-baru ini, penelitian telah menunjukkan peningkatan dalam mengembangkan material berpori yang baru. Kemajuan luar biasa telah dibuat untuk menyesuaikan porositas dan permukaan kimia saringan molekuler oksida dan bentuk baru karbon (ayakan molekul karbon, karbon super aktif, serat karbon aktif, tabung nano karbon, dan serat nano grafit). Namun, potensi penggunaan sifat adsorpsi bahan baru ini sebagian besar masih belum dieksplorasi (R. T. Yang, 2003).

Porositas dalam karbon aktif adalah karakteristik paling berpengaruh dalam adsorpsi. Karbon aktif dibuat dari berbagai jenis karbon dengan struktur yang berbeda pula. Karena porositas dan struktur sangat erat hubungannya, pemahaman tentang struktur dan pembuatannya sangat penting untuk didalami untuk menghasilkan karbon aktif yang efektif.

### 1.3.1.1 Bahan Karbon dari Lahan Basah

Dari sudut pandang struktural, bahan karbon, secara kolektif, membentuk rantai karbon. Namun, pada saat yang sama, setiap karbon memiliki sifat tertentu dan unik. Bentuk karbon, meskipun dari sudut pandang struktural dapat berubah secara berkelanjutan. Masing-masing memiliki metode persiapan yang cukup spesifik dan ini harus dipertimbangkan untuk melihat berbagai mekanisme yang menghasilkan jenis karbon tertentu. Bahan karbon selalu dihasilkan dari karbonisasi bahan organik; yaitu, perlakuan panas dalam atmosfer inert ke suhu yang diperlukan mengakibatkan peningkatan kandungan karbon dan penurunan kandungan heteroatom. Karbonisasi ini juga biasa terjadi pada fase padat, cair dan gas. Berikut **Tabel 1.1** dibawah ini berisi daftar bentuk karbon yang memiliki peran penting dalam industri:

**Tabel 1. 1** Bentuk karbon dalam industri

---

Activated carbons (some with specialty applications)  
Activated carbon fibers  
Activated carbon cloth  
Activated carbon felt  
Carbon molecular sieves  
Carbon aerogels, cryogels and xerogels  
Carbon as catalyst support  
Carbon black  
Carbon composites – ceramic  
Carbon composites – metal  
Carbon fiber/carbon composites  
Carbon fiber/resin composites  
Carbon fibers based on PAN  
Carbon fibers-based pitch (anisotropic fibers)  
Carbon fibers, porous and activated  
Carbon filaments and whiskers  
Carbon films  
Carbon lithium-ion battery  
Diamond films  
Elastic carbon  
Fullerenes  
Glassy carbon  
Graphite/oxide refractories  
Intercalation compounds  
Mesocarbon microbeads  
Nanorods (nano-fibers) without a central cavity  
Nanotubes with open and closed ends  
Prosthetics  
Pyrolytic carbon

---

(Marsh & Rodríguez-Reinoso, 2006a)

Karbon aktif dapat dianggap sebagai ruang molekul (yaitu ruang yang ditempati oleh molekul biasanya dalam fase cair), ruang ini terkandung dalam jaringan tiga dimensi atom karbon yang tersusun berlapis-lapis yang terdiri dari struktur cincin yang digabungkan secara tidak sempurna. Jaringan ini terus menerus dalam tiga dimensi dengan beberapa lapisan yang ditumpuk, kira-kira sejajar satu sama lain, dalam kelompok dua, atau tiga (Marsh & Rodríguez-Reinoso, 2006a).

Berbagai tanaman air ditanam untuk peningkatan kualitas air di lahan basah buatan, seperti *Phragmites australis*, *Arundo donax*

*Linn.*, *Typha orientalis*, *Juncus*, *Spartina alterniflora*, dan eceng gondok. Tanaman air ini pada dasarnya adalah tanaman tahunan atau layu di musim dingin, menghasilkan jumlah biomassa yang sangat besar setiap tahun pada lahan basah buatan. Biomassa lahan basah juga merupakan bahan lignoselulosa, dan memiliki komposisi lignoselulosa yang serupa dengan biomassa pertanian dengan komposisi unsur utama karbon, hidrogen, oksigen, dan nitrogen. Selain itu, tanaman air memiliki sistem ventilasi yang berkembang dengan baik, yang juga baik untuk pencampuran dan mudah bereaksi dengan agen pengaktif selama impregnasi dan aktivasi untuk memproduksi karbon aktif (Burnett, Champion, Clayton, & Ogden, 2007). Karakteristik seperti porositas tinggi, kandungan karbon tinggi, dan kandungan anorganik rendah ini merupakan alasan biomassa lahan basah dapat menjadi kandidat yang baik sebagai prekursor yang menjanjikan untuk menghasilkan karbon aktif (Važić, Svirčev, Dulić, Krstić, & Obreht, 2015).

**Tabel 1. 2.** Komposisi lignoselulosa pada biomassa lahan basah

Biomassa lahan basah	Komposisi Lignoselulosa (%)			Referensi
	Selulosa	Hemiselulosa	Lignin	
<i>Phragmites australis</i>	42,6	31,7	14,1	(Ibrahim, Schlegel, & Kanswohl, 2018; Southichak, Nakano,

				Nomura, Chiba, & Nishimura, 2009)
<i>Arundo donax Linn</i>	43,2	29,0	15,0	(Hou et al., 2016; Maucieri et al., 2019)
<i>Typha orientalis</i>	45,7	24,6	12,6	(Ibrahim et al., 2018; Hai Liu et al., 2013)
<i>Lythrum salicaria L.</i>	45,4	18,6	14,5	(Maucieri et al., 2019)
<i>Juncus</i>	31,5	33	5,3	(Ibrahim et al., 2018)
<i>Spartina alterniflora</i>	38,0	27,2	9,2	(Z. Wang et al., 2011)
Eceng gondok	36,8	13,2	12,0	(González, Gamboa - González, Martínez, & Hernandez- Quiroz, 2019; Zhang, Li,

				Zhou, Zhang, & Chen, 2013)
--	--	--	--	----------------------------------

**Tabel 1. 3** Komposisi elemen pada biomassa lahan basah

Biomassa lahan basah	Komposisi Elemen (%)					Referensi
	C	H	O	N	Ash	
<i>Phragmites australis</i>	46,2	2,11	-	11,1	-	(Ibrahim et al., 2018; Southichak et al., 2009)
<i>Arundo donax Linn</i>	42,2	5,26	51,5	-	0,27	(Hou et al., 2016; Maucieri et al., 2019)
<i>Typha orientalis</i>	46,3	7,6	26,3	14,4	4,8	(Ibrahim et al., 2018; Hai Liu et al., 2013)
<i>Lythrum salicaria L.</i>	46,2	4,9	48,8	0,35	-	(Maucieri et al., 2019)
<i>Juncus</i>	5,3	-	-	-	-	(Ibrahim et al., 2018)

<i>Spartina alterniflora</i>	46,7	6,1	42,3	0,15	-	(Z. Wang et al., 2011)
Eceng gondok	35,0	6,20	55,,0	2,33	1,49	(González et al., 2019; Zhang et al., 2013)

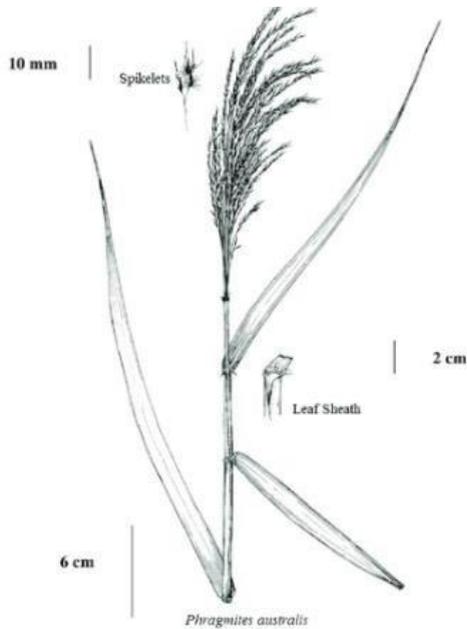
### 1.3.1.2 Pembuatan Adsorben Karbon Aktif dari Biomassa Lahan Basah

#### A. Karakteristik fisika dan kimia karbon aktif dari biomassa lahan basah

Pembuatan karbon aktif secara umum diklasifikasikan dalam 2 aktivasi yaitu aktivasi fisik dan aktivasi kimia. Aktivasi fisik terlibat dalam karbonisasi prekursor karbon pada 400-600 °C, diikuti oleh aktivasi arang yang dihasilkan pada suhu di atas 700 °C di bawah aliran gas pengoksidasi seperti CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, udara atau campurannya. Untuk aktivasi kimia, prekursor karbon dicampur dengan agen pengaktif, seperti H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, KOH, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, ZnCl<sub>2</sub> dan FeCl<sub>3</sub>, dan prekursor karbon dapat mencapai karbonisasi dan aktivasi secara bersamaan pada suhu di atas 400 °C. Oleh karena itu, aktivasi kimia biasanya terjadi pada suhu yang lebih rendah, dan membutuhkan waktu yang lebih singkat untuk mengaktifkan bahan. Sehingga hasilnya lebih tinggi dan biaya energi lebih rendah dengan menggunakan fabrikasi karbon aktif metode ini (Hai Liu, Cheng, & Wu, 2021).

Asam fosfat ( $H_3PO_4$ ) adalah agen pengaktif yang paling umum digunakan untuk memproduksi karbon aktif dari biomassa lahan basah dengan mengambil efek lingkungan dan mempertimbangkan pemulihan kimianya (Shamsuddin, Yusoff, & Sulaiman, 2016).

**Tabel 1.4** menyajikan uji karakteristik BET yaitu uji kimia permukaan karbon aktif: luas permukaan spesifik ( $S_{BET}$ ), volume pori total ( $V_{tot}$ ), volume mikropori ( $V_{mic}$ ), dan jumlah gugus asam dan basa permukaan) ACs yang dibuat dengan aktivasi  $H_3PO_4$ , KOH,  $K_2CO_3$ ,  $K_2SiO_3$ ,  $ZnCl_2$  dan  $FeCl_3$ ,  $H_2SO_4$ , dan  $CO_2$  dengan metode pemanasan konvensional atau microwave dari berbagai biomassa lahan basah seperti *Phragmites australis*, *Typha orientalis*, *Arundo donax Linn*, *Polygonum orientale Linn*, *Zizania caduciflora*, serai *cattail*, tangkai teratai, *Lythrum salicaria L.*, *Cyperus alternifolius*, *Spartina alterniflora*, *Pennisetum alopecuroides*, *Alternanthera philoxeroides*, eceng gondok, *Azolla filiculoides*. **Gambar 1.1** menunjukkan gambar tanaman lahan basah yang bisa dimanfaatkan sebagai karbon aktif.



**Gambar 1. 1.** *Phragmites australis* (Moochikkal, Masrahi, & Sayed, 2018)

Karbon aktif memiliki heterogenitas geometris dan kimia yang kuat, yaitu distribusi lebar pori dan fungsionalitas permukaan yang tidak seragam. Menurut klasifikasi *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC), pori-pori adsorben diklasifikasikan menjadi tiga kelompok: mikropori (diameter  $d < 2 \text{ nm}$ ), mesopori ( $2 < d < 50 \text{ nm}$ ), dan pori makro ( $d > 50 \text{ nm}$ ). Fungsi permukaan dari karbon aktif ditentukan oleh heteroatom, seperti atom oksigen dan nitrogen dalam bentuk gugus fungsi dan/atau atom pada karbon bingkai (Hotová, Slovák, Zelenka, Maršálek, & Parchaňská, 2020).

**Tabel 1. 4** Karakteristik kimia permukaan karbon aktif dari biomassa lahan basah

<b>Prekursor karbon</b>	<b>Pemanasan</b>	<b>Agen pengaktif</b>	<b>S<sub>Bet</sub> (m<sup>2</sup>/g)</b>	<b>V<sub>mic</sub> (cm<sup>3</sup>/g)</b>	<b>V<sub>tot</sub> (cm<sup>3</sup>/g)</b>
<i>Phragmites australis</i>	Konvensional	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1058	0,06	1,12
<i>Typha orientalis</i>	Konvensional	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1279	0,088	1,786
<i>Arundo donax Linn.</i>	Konvensional	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1116	0,564	0,91
<i>Polygonum orientale Linn.</i>	Konvensional	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1398	0,269	1,538
<i>Zizania caduciflora</i>	Konvensional	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1270	0,31	1,37
<i>Cattail fiber</i>	Konvensional	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	890	0,189	0,863
<i>Lotus stalks</i>	Konvensional	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1419	0,321	1,253
<i>Lythrum salicaria L.</i>	Konvensional	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1256	0,20	1,20
<i>Cyperus alternifolius</i>	Konvensional	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1066	0,280	1,151
<i>Spartina alterniflora</i>	Konvensional	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1339	0,225	0,795
<i>Pennisetum alopecuroides</i>	Konvensional	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1108	0,419	1,469
<i>Trapa natans</i>	Konvensional	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1224	0,22	1,04
<i>Phragmites australis</i>	<i>Microwave</i>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1074	0,453	0,996

<i>Arundo donax</i> <i>Linn.</i>	Microwave	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1181	0,262	0,872
<i>Spartina alterniflora</i>	Konvensional	KOH	2825	1,192	1,374
<i>Cattail fiber</i>	Konvensional	KOH	1951	-	-
Eceng gondok	Konvensional	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	235	0,07	-
<i>Alternanthera philoxeroides</i>	Konvensional	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1800	0,314	0,926
<i>Phragmites australis</i>	Konvensional	K <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	721	0,240	0,370
<i>Arundo donax</i> <i>Linn</i>	Konvensional	FeCl <sub>3</sub>	927	0,360	0,509
<i>Alternanthera philoxeroids</i>	Konvensional	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	303	-	0,215
<i>Cattail fiber</i>	Konvensional	CO <sub>2</sub>	441	-	0,33

Sumber: (Hai Liu et al., 2021)

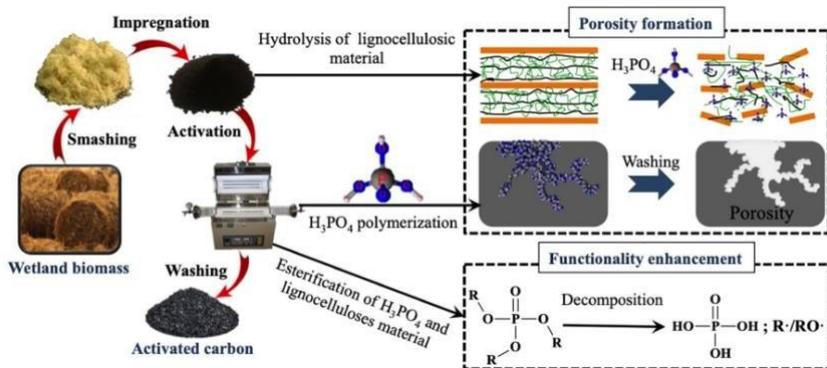
Secara umum, karbon aktif berbasis biomassa lahan basah melalui aktivasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> memiliki struktur mikro-mesopori yang berkembang dengan baik dengan luas permukaan BET di atas 1000 m<sup>2</sup>/g yang diukur dengan metode adsorpsi/desorpsi N<sub>2</sub>, yang sebanding dengan karbon aktif berbasis bahan lignoselulosa lainnya, seperti kayu, lignin, bambu dan jerami padi (Danish, Hashim, Ibrahim, & Sulaiman, 2013; Nahil & Williams, 2012). Adanya mesopori dapat memberikan akses polutan berukuran

rendah ke mikropori internal, yang mengarah pada efisiensi adsorpsi yang tinggi baik di pori mikro maupun mesopori (Y. Huang, Cannon, Guo, Watson, & Mathews, 2016). Biomassa lahan basah dapat berpotensi dijadikan sebagai prekursor karbon untuk menghasilkan karbon aktif dengan struktur mikro mesopori dan punya permukaan kimia yang baik untuk merejeksi ion logam.

### **B. Mekanisme aktivasi $H_3PO_4$ dari bahan lignoselulosa**

Aktivasi  $H_3PO_4$  banyak digunakan untuk produksi karbon aktif dengan struktur mikro-mesopori. Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar. 1.2** proses fabrikasi untuk aktivasi  $H_3PO_4$  melibatkan impregnasi serbuk biomassa dengan larutan  $H_3PO_4$ , diikuti oleh aktivasi pada godaan tinggi di bawah atmosfer inert untuk mengubah bahan lignoselulosa menjadi bahan karbon berpori.

Selama tahap impregnasi,  $H_3PO_4$  dapat terhidrolisis dan meresap ke dalam bahan lignoselulosa, menyebabkan depolimerisasi lignoselulosa menjadi beberapa molekul gula monomer berukuran rendah (Moradi, Amiri, Soleimani-Zad, Ehsani, & Karimi, 2013), dan membentuk struktur polimer fosfat baru melalui fosforilasi bahan lignoselulosa (Fockink, Sánchez, & Ramos, 2018). Oleh karena itu, katalisis  $H_3PO_4$  dapat meningkatkan keseragaman pencampuran zat pengaktif dan prekursor karbon.



**Gambar 1. 2** Skema pembuatan karbon aktif dari biomassa lahan basah dengan aktivasi  $H_3SO_4$  (Hai Liu et al., 2021)

Selama aktivasi pada suhu tinggi,  $H_3PO_4$  bertindak sebagai substansi dehidrasi dan tahan api untuk membakar dan aromatisasi prekursor lignoselulosa pada suhu yang lebih rendah. Pada suhu pemanasan, spesies  $H_3PO_4$  dapat diubah menjadi bentuk polikondensasi yang berbeda, seperti asam pirofosfat pada  $213\text{ }^\circ\text{C}$  dan asam metafosfat di atas  $300\text{ }^\circ\text{C}$  (Nahil & Williams, 2012).

Oleh karena itu, pemanasan pada suhu di atas  $400\text{ }^\circ\text{C}$  selama lebih dari 30 menit akan membuat asam polifosfat dengan dimensi molekul yang berbeda menempati beberapa volume dalam prekursor dan menghambat penyusutan dan keruntuhan material pada suhu tinggi. Setelah aktivasi, bahan berkarbonisasi dicuci dengan air suling untuk menghilangkan asam polifosfat dari struktur berpori, meninggalkan struktur mikro mesopori yang berkembang dengan baik. Ketika zat pengaktif dicampur dengan prekursor, asam polifosfat dengan dimensi molekul berbeda yang terbentuk pada suhu tinggi dapat menghasilkan distribusi pori yang berbeda dalam

karbon aktif. Oleh karena itu, tingkat impregnasi memiliki pengaruh besar pada distribusi ukuran pori karbon akhir.

Selain itu, dilaporkan bahwa karbon aktif yang dibuat dari berbagai bohidrat mobil dan alkohol polihidrat, seperti glukosa, sukrosa, gliserol, dan xylitol dengan aktivasi  $H_3PO_4$ , mengandung lebih banyak kelompok fungsional oksigen pada permukaan dibandingkan dengan karbon aktif yang diturunkan dari biomassa lahan basah. Diduga  $H_3PO_4$  membentuk spesies (poli)fosfat dengan karbohidrat dan alkohol polihidrat. Sedangkan spesies fosfat tidak stabil pada suhu tinggi dan terurai menjadi diester atau monoester dengan melepaskan beberapa radikal pengoksidasi ( $R\cdot$  dan  $RO\cdot$ ). Fungsi permukaan yang lebih tinggi dari karbon yang dihasilkan terutama oleh oksidasi  $R\cdot$  radikal (Sabyasachi Gaan & Gang Sun, 2007). Oleh karena itu, hidrolisis biomassa lahan basah dapat menghasilkan beberapa monomer gula, seperti xilosa, glukosa, arabinosa, dan asam asetat, yang mengarah pada peningkatan keasaman permukaan karbon yang dihasilkan.

### **C. Adsorpsi ion logam berat pada karbon aktif berbasis biomassa lahan basah**

Karbon aktif dikenal sebagai adsorben yang sangat efektif untuk menghilangkan berbagai ion logam berat pada air dan air limbah karena porositas, tingkat kimia dan reaktivitas permukaan yang tinggi. **Tabel 1.5** menunjukkan kapasitas adsorpsi maksimum monolayer ( $Q_m$ ) yang dihitung oleh model isoterm Langmuir dari beberapa karbon aktif komersial dan biomassa lahan basah serta bahan lignoselulosa lainnya terhadap rejeksi ion logam berat.

**Tabel 1. 5** Kapasitas adsorpsi maksimum monolayer ( $Q_m$ ) pada karbon aktif komersial, lahan basah dan bahan lignoselulosa lainnya

Carbon precursor	$S_{BET}$ ( $m^2/g$ )	Heavy metal ions	pH	$Q_m$ (mg/g)
<i>Spartina alterniflora</i>	1150	Cd <sup>2+</sup>	6	47.85
Lotus	1503	Cd <sup>2+</sup>	6	33.6
<i>Zizania caduciflora</i>	1145	Cd <sup>2+</sup>	6	58.7
<i>Phragmites australis</i>	895–1200	Cd <sup>2+</sup>	5.8–6.0	43.8–59.0
<i>Typha angustifolia</i>	130	Cd <sup>2+</sup>	7.0	48.1
Commercial ACs	950–4200	Cd <sup>2+</sup>	6.0–7.0	1.3–27.3
Olive stone, bagasse, coffee residue, coconut shell	800–1050	Cd <sup>2+</sup>	4.5–6.0	1.8–38.0
<i>Polygonum orientale</i> Linn.	1398	Pb <sup>2+</sup>	5.0	98.4
Lotus	1419	Pb <sup>2+</sup>	5.0	139
<i>Phragmites australis</i>	1058	Pb <sup>2+</sup>	7.0	166
<i>Typha angustifolia</i>	130	Pb <sup>2+</sup>	5.0	61.7
Commercial ACs	1000–4273	Pb <sup>2+</sup>	5.5–7.0	10.8–21.5
Coffee residue, olive stone, eucalyptus bark, sea-buckthorn, hazelnut husks	1000–1240	Pb <sup>2+</sup>	5.0–6.0	13.0–135.4
<i>Typha orientalis</i>	795	Ni <sup>2+</sup>	6.2	14.5
<i>Pennisetum alopecuroides</i>	1108	Ni <sup>2+</sup>	7.0	23.5
<i>Phragmites australis</i>	860–1100	Ni <sup>2+</sup>	5.8	23–27.6
<i>Zizania caduciflora</i>	1145	Ni <sup>2+</sup>	6.0	30.3
Lotus	1419	Ni <sup>2+</sup>	6.3	33.6
Commercial ACs	850–1150	Ni <sup>2+</sup>	5.0–6.0	7.5–29.8
<i>Prosopis ruscifolia</i> wood, lignin, <i>Glycyrrhiza glabra</i> , coconut shell	770–2943	Ni <sup>2+</sup>	5.0–6.4	9.3–32.4
<i>Acorus calamus</i> Linn.	574	Cr(VI)	4.0	46.7
<i>Arundo donax</i> Linn.	1181	Cr(VI)	5.38	15.1
<i>Zizania caduciflora</i>	1270	Cr(VI)	5.0	23.5
<i>Trapa natans</i>	1224	Cr(VI)	5.0	63.3
Commercial AC	900–1200	Cr(VI)	3.7–6.5	3.9–32.4
<i>Hevea brasiliensis</i> sawdust, bamboo, peanut shells, Fox nutshell	765–2870	Cr(VI)	2.0–5.2	18.9–55.4

Sumber: (Hai Liu et al., 2021)

Berdasarkan survei ekstensif literatur tentang  $Q_m$  pada karbon aktif, dapat dilihat dari: **Tabel 1.5** bahwa kapasitas adsorpsi karbon aktif berbasis biomassa lahan basah jauh lebih tinggi daripada karbon aktif komersial, dan relatif lebih tinggi dari karbon aktif yang berasal dari bahan biomassa lain. Hal ini membuktikan

bahwa biomassa lahan basah dapat digunakan sebagai prekursor dengan biaya rendah dan relatif efektif untuk menghasilkan karbon aktif untuk adsorpsi ion logam berat. Namun, harus diperhatikan bahwa sulit untuk memberikan perbandingan secara adil pada kapasitas adsorpsi karbon aktif untuk ion logam berat, karena percobaan isoterm adsorpsi ini dilakukan pada kondisi yang berbeda. Oleh karena itu, parameter operasional untuk percobaan adsorpsi juga tercantum dalam **Tabel 1.5** tersebut.

Adsorpsi pada karbon aktif terkait dengan proses fisik-kimia, dan kapasitas adsorpsi karbon aktif untuk ion logam berat tergantung pada struktur pori dan kimia permukaan, termasuk luas permukaan BET, distribusi ukuran pori, dan jenis dan jumlah permukaan fungsional kelompok. Struktur pori yang sangat berkembang dapat meningkatkan adsorpsi laju dengan menyediakan area kontak yang besar untuk ion berat untuk bereaksi dengan permukaan karbon, dan gugus fungsi dapat mengadsorpsi ion logam melalui interaksi kimia. Adsorpsi ion logam berat ke karbon aktif terutama meliputi mekanisme pengisian mikropori dan interaksi kimia.

Diameter ion kation logam berat umumnya  $<0,5$  nm:  $0,12$  nm untuk  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $0,2$  nm untuk  $\text{Cd}^{2+}$ , dan  $0,27$  nm untuk  $\text{Pb}^{2+}$  (Nightingale Jr, 1959). Sehingga ukuran ini dapat terserap pada adsorben yang punya ukuran mikropori. Selain itu heteroatoms (N dan O) di dalam pori ataupun ujungnya dapat membentuk klaster air dengan molekul  $\text{H}_2\text{O}$  lewat ikatan hidrogen. Hal ini mengakibatkan pori-pori tertutup dan menurunkan pori-pori internal adsorben. Oleh karena itu, keberadaan mesopori juga berguna untuk adsorpsi polutan yang

berdifusi ke dalam pori-pori internal. Adsorpsi pun menjadi lebih cepat dan berefisiensi tinggi.

Permukaan O/N- mengandung gugus fungsi seperti gugus karboksilat, lakton, fenol, karbonil, eter, amino dan amida, dapat diklasifikasikan menjadi asam, basa dan netral menurut sifat kimianya. Gugus fungsi ini dapat menghasilkan gaya tarik menarik untuk ion logam berat dan menyerapnya melalui interaksi kimia. Reaksi kimia yang terjadi terdiri dari (**Gambar 1.3**):

1. Pertukaran kation

Gugus karboksilat, fenol dan amino mampu mengikat ion logam berat dengan menukar atom H nya dengan kation.

2. Daya tarik elektrostatik

Karboksil dan fenolik yang terdeprotonasi, gugus hidroksil dapat memberikan gaya tarik menarik untuk adsorpsi Ni(II).

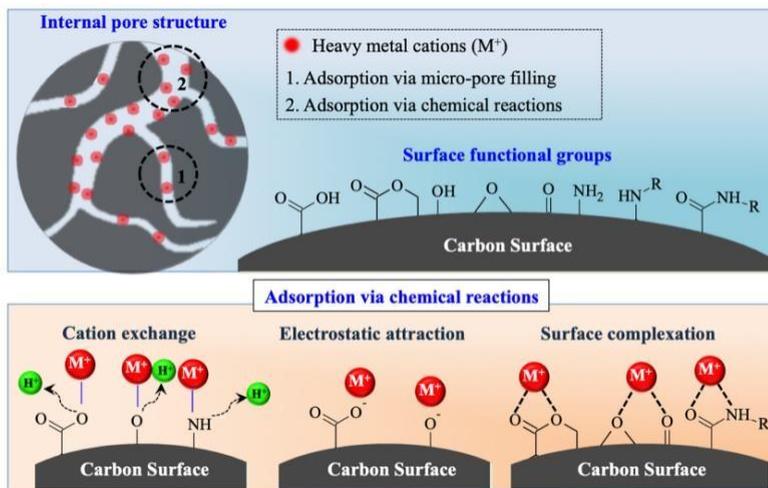
3. Kompleksasi permukaan

Gugus eter, karbonil dan amida dengan sepasang elektron bebas dapat mengadsorpsi kation melalui interaksi nonkovalen donor-akseptor electron (Hai Liu et al., 2021).

#### **D. Modifikasi karbon aktif dengan metode in-situ selama aktivasi $H_3PO_4$**

Metode pasca modifikasi banyak digunakan untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi karbon aktif terhadap ion logam berat dengan memperkenalkan fungsionalitas oksigen dan nitrogen dengan impregnasi karbon aktif dalam berbagai bahan kimia selama beberapa jam, seperti  $HNO_3$ ,  $H_2O_2$  (Wang dan Liu, 2018), polietilenimin, atau polietilenimin. Secara umum, fabrikasi dan modifikasi karbon aktif *virgin* dengan bahan kimia adalah proses

utama yang terlibat dalam metode pasca modifikasi, yang membuat prosesnya memerlukan waktu lama(Hai Liu et al., 2021).



**Gambar 1. 3** Struktur Permukaan dan Fungsionalisasi karbon aktif berdasarkan mekanisme adsorpsi logam berat (Hai Liu et al., 2021)

Dalam sederhananya mengenai proses modifikasi, beberapa peneliti telah melaporkan bahwa modifikasi in-situ karbon aktif selama proses fabrikasi diakui sebagai metode yang efektif untuk meningkatkan fungsionalitas oksigen dan nitrogen pada karbon aktif. Garam amonium, asam organik dan alkohol dicampur sepenuhnya dengan prekursor karbon (biomassa lahan basah) dan agen pengaktif ( $H_3PO_4$ ) selama proses impregnasi, diikuti dengan mengaktifkan campuran pada suhu tinggi. Selama aktivasi, bahan kimia bereaksi dengan prekursor karbon pada suhu tinggi, dan heteroatom O dan N yang berasal dari bahan kimia ini dimasukkan ke dalam kerangka karbon, menghasilkan peningkatan kemampuan

adsorpsi mereka terhadap polutan organik dan anorganik (H. Liu et al., 2021).

Alkohol polihidrat pertama kali digunakan untuk memodifikasi karbon aktif berbasis tangkai teratai secara in-situ selama aktivasi  $H_3PO_4$ . Pentaerythritol dengan beberapa gugus hidroksil dapat bereaksi dengan  $H_3PO_4$  melalui esterifikasi untuk membentuk fosfat dengan berat molekul rendah pada suhu di atas  $130\text{ }^\circ\text{C}$ . Kemudian, fosfat yang tidak stabil terurai dan menghasilkan beberapa radikal pengoksidasi ( $R\cdot$  dan  $RO\cdot$ ), yang menyebabkan sekitar  $\sim 80\%$  peningkatan kandungan oksigen permukaan karbon aktif yang dimodifikasi (Sabyasachi Gaan & Gang Sun, 2007). Selain itu, di bawah suhu di atas  $\sim 150\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $H_3PO_4$  juga mengkatalisis reaksi esterifikasi antara gugus hidroksil alkohol dari bahan pentaerythritol dan lignocel lulosic untuk membentuk struktur ikatan silang yang tinggi, yang mengarah pada pembentukan intumescent char. Namun, penggunaan  $H_3PO_4$  untuk esterifikasi dengan pentaeritritol dan pembentukan ikatan silang struktur menghambat pembentukan porositas karbon aktif yang dimodifikasi, mengurangi luas permukaan menjadi  $340\text{ m}^2/\text{g}$  dibandingkan dengan  $1418\text{ m}^2/\text{g}$  karbon aktif *virgin*. Namun, setelah modifikasi, adsorpsi Ni(II) dari karbon aktif didapat sebesar  $60\%$ , yang menunjukkan bahwa adsorpsi kimia memberikan kontribusi yang lebih besar pada adsorpsi Ni(II) daripada efek pengisian pori mikro.

Asam organik, seperti asam tartarat (Hai Liu et al., 2014), asam oksalat/asam suksinat, dan asam humat (Guo, Zhang, & Liu, 2016) digunakan untuk memodifikasi karbon aktif berbasis *Phragmites australis* atau *Zizania caduciflora* agar mencapai

peningkatan sinkron dari fungsionalitas permukaan dan porositas. Selama aktivasi, asam organik memperkenalkan gugus fungsi oksigen pada karbon aktif. Secara bersamaan, gugus karboksil dalam asam organik didekomposisi menjadi gas  $\text{CO}_2$  dengan katalisis  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , yang meningkatkan porositas karbon aktif dibandingkan dengan modifikasi in-situ dengan alkohol polihidrat.

Selain itu, karbon aktif yang didoping dengan nitrogen telah menarik perhatian besar peneliti karena kemampuannya yang kuat untuk mengadsorpsi ion logam berat dalam air limbah. Fungsionalitas N berhasil dimasukkan ke dalam karbon aktif melalui modifikasi in situ dengan amonium asam anorganik dan organik, seperti amonium hidroksida (Guo, Zhang, Zhang, et al., 2017), amonium bikarbonat (Guo, Zhang, Zhang, et al., 2017), dan amonium klorida (L. Wang, Yan, et al., 2018), urea (Guo, Zhang, Zhang, et al., 2017), amonium asetat (L. Wang, Yan, et al., 2018), amonium suksinat (L. Wang, Chen, et al., 2018), amonium tartrat (L. Wang, Chen, et al., 2018), amonium sitrat (L. Wang, Chen, et al., 2018), dan  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  (Li, Zhang, & Liu, 2018) melalui metode pemanasan konvensional atau microwave.

Transformasi  $\text{H}_3\text{PO}_4$  menjadi bentuk polikondensasi yang berbeda mempengaruhi secara signifikan porositas pembentukan karbon aktif selama aktivasi  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Asam polifosfat, termasuk asam pirofosfat ( $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) dan asam trifosfat ( $\text{H}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$ ) dieksplorasi sebagai agen pengaktif untuk menyiapkan karbon aktif dari *Cyperus alternifolius*, tangkai teratai, dan *Arundo donax* Linn., dan karbon aktif yang diproduksi juga menunjukkan nilai SBET yang sebanding

dengan mikro-mesoporous yang sangat berkembang struktur ke karbon aktif yang diaktifkan  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .

Asam polifosfat ini memiliki fungsi yang berbeda pada bahan lignoselulosa selama proses impregnasi dan aktivasi, dan karbon aktif yang dihasilkan memiliki perbedaan besar dalam sifat fisik dan kimia dengan karbon aktif yang diaktifkan  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .  $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$  dan  $\text{H}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$ , sebagai oligomer  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , adalah asam yang lebih kuat daripada  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , dan menunjukkan sifat dehidrasi dan hidrolisis yang lebih kuat terhadap bahan lignoselulosa. Selama proses impregnasi  $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$  dan  $\text{H}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$ , hidrolisis biomassa lahan basah dapat ditingkatkan, yang menyebabkan pencampuran agen pengaktif dengan prekursor karbon lebih seragam. Oleh karena itu, selama aktivasi pada suhu tinggi,  $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$  dan  $\text{H}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$  dapat lebih terkondensasi menjadi asam polifosfat dengan dimensi molekul yang lebih seragam, juga menghasilkan distribusi ukuran pori yang lebih sempit dari karbon aktif akhir dengan ukuran pori yang lebih kecil. diameter pori rata-rata ( $D_p$ ) dibandingkan dengan karbon aktif yang diaktifkan  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .

Selain itu, dilaporkan juga bahwa menggunakan karbohidrat, seperti glukosa, sukrosa dan pati, sebagai prekursor karbon dengan aktivasi  $\text{H}_3\text{PO}_4$  dapat menghasilkan karbon aktif dengan gugus oksigenasi asam permukaan yang lebih banyak dibandingkan dengan karbon aktif yang menggunakan bahan lignoselulosa (batang teratai dan *Phragmites australis*) sebagai prekursor (Hai Liu, Zhang, Ngo, et al., 2015). Karena  $\text{H}_3\text{PO}_4$  dapat bereaksi dengan karbohidrat untuk membentuk fosfat mikromolekul jenis. Fosfat yang dihasilkan tidak stabil dan mudah terurai pada suhu tinggi, yang

disertai dengan produksi beberapa radikal pengoksidasi. Radikal-radikal ini mendorong jumlah gugus teroksidasi asam permukaan. Selama  $H_4P_2O_7$  dan proses impregnasi  $H_6P_4O_{13}$ , peningkatan hidrolisis juga menyebabkan semakin banyak produksi monomer gula, seperti xilosa, glukosa, arabi nose, dan asam asetat yang dihasilkan (Lenihan et al., 2010). Oleh karena itu, selama aktivasi, pembentukan dan dekomposisi fosfat yang berasal dari  $H_4P_2O_7$ / $H_6P_4O_{13}$  dan monomer gula juga meningkatkan fungsionalitas hasil permukaan karbon aktif (H. Liu et al., 2012).

Fosfat organik, sebagai sejenis ester dari  $H_3PO_4$  dan alkohol, bagus dijadikan agen pengaktif untuk fabrikasi karbon aktif dari: tangkai teratai dan *Zizania caduciflora* dengan fungsi oksigen permukaan yang tinggi untuk adsorpsi ion logam berat. Selama aktivasi pada suhu tinggi, fosfat organik dapat terurai menjadi asam oksi dari fosfor dan beberapa radikal ( $R\cdot$  dan  $RO\cdot$ ) (Sabyasachi Gaan & Gang Sun, 2007). Dengan demikian, radikal pengoksidasi kuat ini dapat bereaksi dengan prekursor karbon dan mendorong pembentukan asam kelompok teroksidasi. Karbon aktif dengan aktivasi fosfat organik menunjukkan keasaman permukaan 10-80% lebih tinggi daripada karbon aktif yang diaktifkan  $H_3PO_4$ . Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa karbon aktif terbuat dari alkohol polihidrat dengan aktivasi  $H_3PO_4$ , seperti gliserol, eritritol, xylitol, manitol, dan inositol mengandung 50–90% lebih banyak jumlah gugus oksidasi asam permukaan daripada karbon aktif referensi yang berasal dari bahan lignoselulosa (batang teratai dan *Zizania caduciflora*) (Hai Liu, Zhang, Jiang, et al., 2015).

Fosfat organik ini memiliki titik didih antara 150 dan 300 °C. Selama aktivasi pada suhu tinggi di atas 400 °C, agen pengaktif fosfat organik hilang oleh penguapan dan dekomposisi, lalu pembentukan porositas melalui mekanisme pembentukan asam polifosfat menurun. Oleh karena itu, bahan organik dari karbon aktif teraktivasi fosfat dengan struktur mikro-mesopori menunjukkan luas permukaan yang lebih kecil (200–650 m<sup>2</sup>/g) daripada karbon aktif yang diaktifkan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (~1100 m<sup>2</sup>/g). Namun, fungsionalitas permukaannya 40–80% lebih tinggi. Karbon aktif yang dihasilkan menghasilkan 10–75% kapasitas adsorpsi Ni(II), Cd(II) dan Pb(II) lebih tinggi daripada karbon aktif yang diaktifkan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, menunjukkan bahwa kemampuan adsorpsinya diatur oleh interaksi kimia antara gugus fungsi permukaan dan kation logam ((Li et al., 2018).

Amonium fosfat organik dan anorganik, seperti: monoamonium fosfat, diammonium fosfat, triamonium fosfat, urea fosfat, dan kuanidin fosfat, digunakan sebagai agen pengaktif untuk membuat karbon aktif dari biomassa lahan basah (batang Teratai dan *Phragmites australis*). Selama aktivasi pada suhu tinggi, garam amonium organik dan anorganik terurai menjadi gas ammonia dan menyebabkan fungsionalitas nitrogen ke hasil karbon aktif untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi Ni(II), Cd(II), dan Cu(II) (Guo, Zhang, Liu, & Kang, 2017; Guo, Zhang, Kang, & Zhang, 2017).

Organik dan anorganik amonium fosfat adalah garam, sehingga garam ini tidak dapat bertindak sebagai fungsi asam fosfat untuk hidrolisis bahan lignoselulosa selama impregnasi dan pembentukan asam polifosfat selama aktivasi, menghambat

pembentukan porositas karbon aktif yang dihasilkan dibandingkan dengan karbon aktif yang diaktifkan  $H_3PO_4$ . Karbon aktif dengan aktivasi amonium fosfat anorganik hanya menunjukkan nilai  $S_{BET}$  sekitar 400–500  $m^2/g$ , sedangkan karbon aktif (~850  $m^2/g$ ) dengan aktivasi amonium fosfat organik (urea fosfat) memiliki porositas yang berkembang dengan baik sebagai AC yang diaktifkan  $H_3PO_4$ . Ini indikasi bahwa gugus karbonil dalam urea mempromosikan porositas sebagai modifikasi asam organik in-situ.

Penelitian lain juga telah membuat karbon aktif yang berasal dari tanaman nipah (I. Syauqiah, Elma, Mailani, & Pratiwi, 2021). Tanaman nipah (*Nypa fruticans*) merupakan salah satu jenis palem yang memiliki ciri khas dan tumbuh di seluruh muara tambak di air payau. Daun nipah sebagai bagian dari pohon nipah (*Nypa fruticans*) mengandung selulosa sekitar 28,9%(Tamunaidu & Saka, 2011). **Tabel 1.6** dibawah memperlihatkan karakteristik daun nipah setelah karbonisasi.

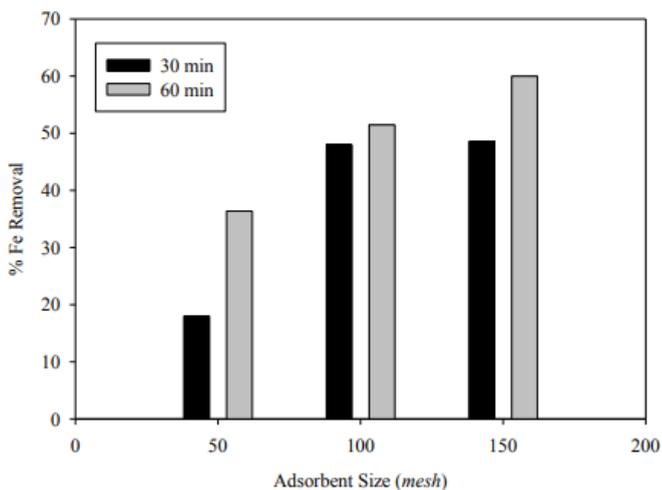
**Tabel 1. 6** Karakteristik daun nipah setelah karbonisasi

Characteristics	Contents (%)
Moisture	3.66
Ash	10.08
Rough fibre	18.26

Berdasarkan **Tabel 1.6**, tercatat bahwa kadar air serbuk karbon daun nipah adalah 3,66%. Memang, sebelum dilakukan karbonisasi, sampel dikeringkan, sehingga kadar air dalam sampel cukup rendah. Rendahnya kadar air pada sampel menyebabkan pori-pori adsorben menjadi lebih besar dan membuat luas

permukaan lebih luas. Karena sampel terbuat dari bahan alami, sampel tidak hanya mengandung karbon tetapi juga beberapa mineral lainnya. Sebagian besar mineral menghilang selama karbonisasi dan proses aktivasi, sedangkan sisanya tetap dalam sampel. Mineral yang tersisa diasumsikan menjadi abu. Seperti terlihat pada **Tabel 1.6**, nilai kadar abu serbuk karbon daun nipah adalah 10,08% berat. Nilai kadar air dan kadar abu pada serbuk karbon daun nipah memenuhi syarat Baku mutu Arang Aktif berdasarkan SNI (Standar Indonesia) 1995, dimana maksimum kadar air dan kadar abu dalam serbuk karbon aktif masing-masing adalah 15 dan 10 % berat. Selanjutnya, serat merupakan komponen penyusun dinding sel pada tumbuhan, yang biasanya meliputi: selulosa, hemiselulosa dan lignin. Kandungan serat kasar dalam bubuk karbon daun nipah adalah 18,26% berat. Sebagai perbandingan, hasil penelitian sebelumnya tentang limbah padat agar-agar mengungkapkan bahwa kandungan serat kasar limbah padat agar adalah 38,05 wt%. Nilai ini lebih tinggi dari serbuk karbon daun nipah dalam penelitian ini. Tingginya kandungan serat kasar disebabkan oleh sebagian besar limbah adalah konsentrat serat yang tidak lagi dapat diekstraksi. Disamping itu, tingkat serat kasar juga menunjukkan karbon dalam sampel. Dengan kata lain, semakin tinggi level serat minyak mentah, semakin tinggi pula karbon yang terkandung dalam sampel (Faujiah, 2012). Kandungan karbon yang lebih tinggi juga menyebabkan luas permukaan melebar. Adanya gugus fungsi nitrogen pada gugus fungsi amina, gugus pada permukaan karbon akan meningkatkan kapasitas adsorpsi.

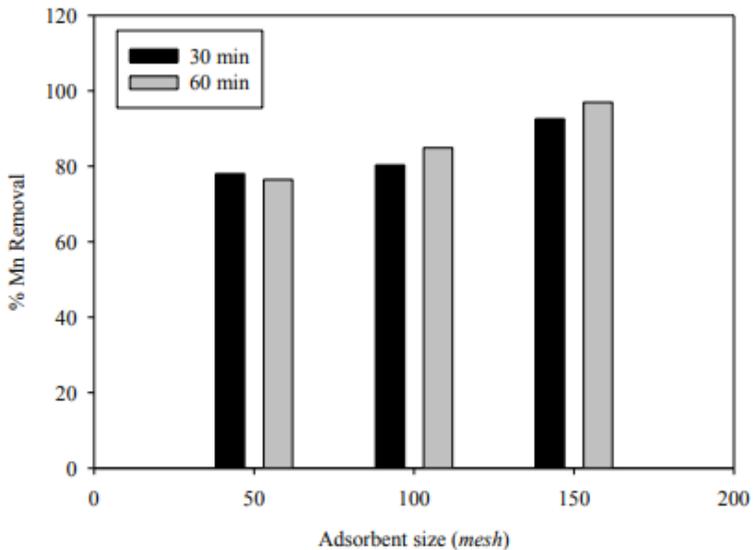
Karbon aktif nipah ini diaplikasikan untuk merejeksi logam berat seperti besi dan mangan seperti yang terlihat pada **Gambar 1.4**. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa konsentrasi Fe menurun dengan semakin lama waktu kontak. Nilai konsentrasi Fe terkecil adalah pada menit ke-60 dengan ukuran adsorben 150 mesh, yaitu sama dengan  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . Semakin lama waktu kontak menyebabkan terjadinya proses difusi dan pelekatan  $\text{Fe}^{3+}$  ion ke permukaan adsorben lebih baik, lalu menyebabkan konsentrasi Fe menjadi menurun (Nor, Sunarto, & Prasetya, 2014). Selain itu, semakin kecil ukuran partikel adsorben, semakin besar luas permukaannya adsorben yang menyebabkan konsentrasi Fe lebih kecil. Korelasi antara waktu kontak dan ukuran partikel adsorben pada adsorpsi Fe dapat dilihat pada **Gambar 1.4**.



**Gambar 1. 4** Rejeksi Fe pada berbagai ukuran adsorben nipah dan waktu kontak

Kecenderungan adsorpsi menunjukkan bahwa persentase penyisihan meningkat seiring dengan peningkatan dari waktu kontak. Hal ini disebabkan waktu kontak yang lebih lama menghasilkan interaksi yang lebih baik antara adsorben daun nipah dengan ion  $\text{Fe}^{3+}$ , sehingga lebih banyak ion  $\text{Fe}^{3+}$  yang teradsorpsi oleh adsorben daun nipah melalui reaksi pertukaran ion  $\text{Fe}^{3+}$  dengan ion  $\text{H}^+$  pada adsorben daun nipah teraktivasi. Pengurangan persentase penyisihan maksimum Fe pada waktu kontak 60 menit dengan ukuran partikel 150 mesh adalah 59,96% berat. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan semakin lama waktu kontak digunakan semakin besar penurunan kadar Fe karena proses penyerapan adsorbat semakin optimal (Isna Syauqiah, Amalia, & Kartini, 2011). Selanjutnya, semakin tinggi ukuran jaring karbon, semakin besar kapasitas adsorpsi karena ukuran partikel menjadi lebih kecil sehingga luas permukaan karbon aktif lebih besar, yang membuat bagian lebih aktif untuk menyerap. Sebagai perbandingan dengan *Granular Activated Carbon* (GAC) adsorben, persentase penyisihan maksimum Fe dengan dosis dan waktu kontak yang sama dalam larutan Fe adalah 99,5% (Goher et al., 2015).

**Gambar 1.5** menunjukkan adanya proses adsorpsi Mn menggunakan adsorben daun nipah (*Nypa fruticans*) yang diaktivasi asam sitrat ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ ) 0,1 M. Adsorpsi dilakukan dalam larutan  $\text{MnCl}_2$  dengan konsentrasi awal  $0,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Larutan ini akan melakukan kontak dengan adsorben menggunakan waktu kontak yang berbeda (30 dan 60 menit) dan ukuran adsorben yang berbeda (partikel yang tertahan pada mesh 50, 100 dan 150).



**Gambar 1. 5** Rejeksi Mn pada berbagai ukuran adsorben nipah dan waktu kontak

Semakin lama waktu kontak menghasilkan interaksi yang lebih besar antara adsorben daun nipah dengan Ion  $Mn^{2+}$ , sehingga lebih banyak ion  $Mn^{2+}$  yang diserap oleh adsorben daun nipah melalui ion  $Mn^{2+}$  reaksi pertukaran dengan ion  $H^+$  pada adsorben daun nipah yang telah diaktifkan. Dari **Gambar 1.5**, dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan penyerapan logam Mn dari waktu ke waktu. Namun, pada ukuran partikel 50 mesh, adsorpsi yang lebih tinggi terjadi pada menit ke-30 dan menurun pada menit ke-60. Kondisi ini disebabkan oleh luas permukaan adsorben yang kecil. Hal tersebut membuat adsorben tidak mampu lagi menyerap karena ion  $Mn^{2+}$  telah terakumulasi atau menjadi sangat padat dalam waktu yang lebih cepat. Dengan demikian, ion  $Mn^{2+}$  yang telah terikat pada adsorben akan kembali ke larutan atau disebut desorpsi (Zaini &

Abubakar, 2017). Penyisihan Mn maksimum terjadi pada waktu kontak 60 menit dengan ukuran partikel 150 mesh adalah 96,94% berat. Namun pada rentang waktu 30 sampai 60 menit, perbedaan penurunan kadar Mn relative kecil. Artinya 30 menit merupakan waktu optimum adsorben daun nipah untuk menyerap Mn di dalam larutan. Sebagai perbandingan dengan adsorben karbon aktif granular (GAC), penyisihan maksimum persentase Mn dengan dosis dan waktu kontak yang sama dalam larutan Fe adalah 97,4%(Goher et al., 2015).

*Nypa fruticans* sendiri yang terlihat dari **Gambar 1.6** adalah salah satu tanaman bakau yang paling bermanfaat. Selain adsorben, daunnya dapat digunakan untuk jerami, payung, topi matahari, jas hujan, keranjang, tikar dan tas. Tangkai digunakan sebagai bahan bakar dan panah. Gula, alkohol, dan cuka dapat diperoleh dari tanaman. Biji mudanya bisa dimakan(Göltenboth & Schoppe, 2006).



**Gambar 1. 6** Tanaman nipah (a), fruit sand (b), benih nipah berkecambah (c), benih nipah yang dapat mengapung di air (Göltenboth & Schoppe, 2006)

Berdasarkan hasil-hasil ulasan ini, karbon aktif berasal dari berbagai biomassa lahan basah sangat menjanjikan untuk dijadikan karbon aktif karena luas permukaan yang dihasilkan besar, porositas tinggi dan kapasitas adsorpsi yang baik untuk ion logam berat. Pemanfaatan lahan basah biomassa sebagai prekursor dapat mengurangi biaya produksi karbon aktif komersial dan biaya untuk pembuangan biomassa. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa karbon aktif berbasis biomassa lahan basah memiliki potensi yang menjanjikan untuk diadopsi dalam menghilangkan ion logam berat-polusi. Untuk adsorpsi ion logam berat berukuran kecil, permukaan kimia adalah faktor yang lebih signifikan daripada struktur berpori untuk kinerja adsorpsi karbon aktif. Kelompok yang mengandung oksigen/nitrogen pada permukaannya dapat meningkatkan adsorpsi melalui tarikan elektrostatik dan pembentukan kompleks organik. Peningkatan fungsionalitas permukaan dan kapasitas adsorpsi karbon aktif dicapai melalui metode modifikasi in-situ selama aktivasi  $H_3PO_4$  dan aktivasi berbasis fosfor baru. Proses ini lebih sederhana dan unggul daripada metode modifikasi konvensional, yaitu mengandung dua proses fabrikasi kemudian modifikasi karbon aktif (Hai Liu et al., 2021).

#### **E. Adsorben Nanopartikel dari tanaman lahan basah**

*Eleocharis dulcis* (ED), atau di Kalimantan bernama Purun Tikus, merupakan tumbuhan air yang tumbuh di daerah rawa yang sangat asam di Kalimantan Selatan. Batang berongga pada ED memiliki diameter rata-rata 5 mm dan tumbuh setinggi hampir 2 m dan memiliki serapan logam berat kapasitas dalam sistem filtrasi

lahan basah (Overall & Parry, 2004). ED sangat bahan terbarukan, sumber daya melimpah di Kalimantan Selatan di antara hampir 70 hektar ditanam di daerah rawa dan itu membutuhkan beberapa bulan untuk tumbuh. ED juga biasa digunakan untuk kerajinan hidup, seperti tas, keset lantai, peralatan dapur, dll.

Adsorben nanopartikel yang berasal dari ED telah dilakukan pada penelitian Irawan, Nata, Putra, Elma, and Hanisa (2017). Sintesis nanokomposit biokomposit dilakukan dengan solvotermal perpaduan. Batang ED yang telah dikeringkan terlebih dahulu dipotong kecil-kecil (250 mikron), kemudian melalui proses de-lignifikasi untuk menghilangkan lignin dengan cara 1% b/v larutan NaOH. De-lignifikasi ED dimasukkan ke dalam reaktor hidrotermal, kemudian dilakukan solvotermal satu pot reaksi 1,6-diaminoheksana, besi (III) klorida heksahidrat, dan etilen glikol pada 200 selama 6 jam. Proses ini menghasilkan 2 jenis biokomposit yaitu adsorben tanpa gugus amino (EDB-M) dan gugus amino (EDB-MH). Hasil karakterisasi ditunjukkan oleh SEM, nanopartikel magnetik telah terbentuk pada permukaan serat ED. Nanopartikel biokomposit ED (EDB) dengan diameter ukuran sekitar 30-50 nm dapat diperoleh. Analisis X-Ray Diffraction (XRD) menunjukkan perlakuan ED delignifikasi meningkat porositas serat, ditunjukkan dengan peningkatan Crystallinity Index (CrI) sebesar 72,75%.

### **1.3.2 Membran**

Karakteristik membran dipengaruhi oleh jenis bahan dan proses pembuatan membran tersebut. Membran yang terbuat dari selulosa dan turunannya yang bersifat hidrofilik pada umumnya

mempunyai kekuatan tarik yang lebih tinggi dari membran polimer sintesis yang bersifat hidrofobik (Tutriyanti, 2017).

Sebaliknya membran polimer sintesis umumnya lebih tahan terhadap pH umpam dibandingkan membran sululosa (Sivakumar, Mohan, & Rangarajan, 2006). Setiap membran mempunyai kelebihan dan kekurangannya masing-masing.

Berdasarkan prinsip pemisahannya, membran dibagi menjadi tiga kelompok yaitu (Muthia Elma, 2016) (**Gambar 1.7**):

a. Membran berpori (*porous membrane*)

Membran ini digunakan untuk memisahkan partikel besar menjadi makromolekul (mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi). Selektivitas tinggi dapat diperoleh ketika ukuran pori menentukan jenis pemisahan dan ukuran pori lebih kecil dari ukuran partikel yang akan dipisahkan.

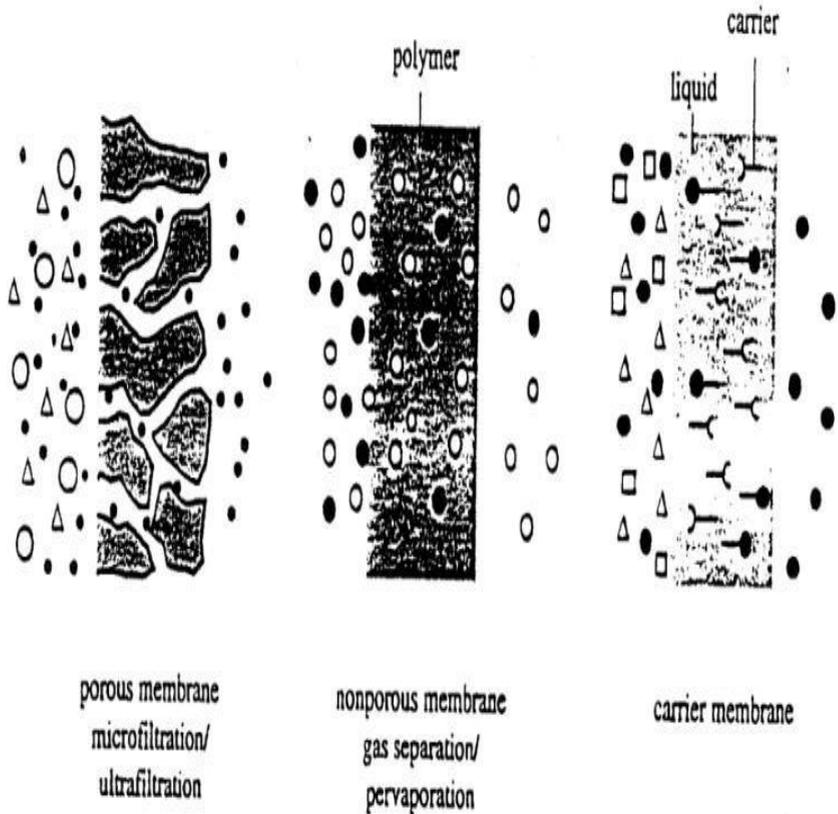
b. Membran tidak berpori (*dense membrane*)

Membran ini digunakan dalam pemisahan dan pervaporasi gas, yang dapat memisahkan campuran senyawa dengan berat molekul yang relatif sama. Misalnya digunakan pada proses pemisahan gas yang dapat memisahkan campuran  $H_2/N_2$ ,  $O_2/N_2$  dan  $CO_2/N_2$ . Selektivitas membran ini disebabkan oleh perbedaan kelarutan atau difusivitas.

c. *Carrier* Membran (Membrane Pembawa)

Mekanisme perpindahan massa pada membran jenis ini tidak ditentukan oleh membran (atau bahan membran), tetapi oleh molekul pembawa tertentu yang mendorong terjadinya migrasi tertentu. Ada dua konsep dalam mekanisme permeasi membran jenis ini. Artinya, pembawa tidak bergerak di dalam matriks

membran atau bergerak ketika dilarutkan dalam cairan. Selektivitas komponen sangat tergantung pada sifat-sifat molekul pembawa. Selektivitas tinggi dapat dicapai dengan menggunakan pembawa khusus. Komponen yang akan dipisahkan dapat berupa gas atau cairan, cairan, ionik atau nonionik.



**Gambar 1. 7** Skema Berdasarkan Kerapatan Pori (Mulder, 1996)

Selulosa asetat dapat diperoleh dengan Proses Asetilasi Selulosa menggunakan bahan selulosa kemurnian tinggi. Secara umum, produksi komersial selulosa asetat berasal dari kayu, kapas,

dan serat tanaman non-kayu yang bernilai tinggi (Rosnelly, Darwis, & Noor, 2010).

Salah satu tanaman lahan basah yang dimanfaatkan selulosa asetatnya adalah eceng gondok (**Gambar 1.8**). Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) merupakan salah satu jenis tumbuhan terapung yang hidup di air. Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) memiliki kemampuan sebagai biofilter. Karena penyebarannya yang cepat, tanaman ini telah menjadi gulma di beberapa perairan Indonesia. Eceng gondok disebut sebagai gulma air terburuk di dunia karena kemampuannya untuk dengan cepat menutupi seluruh saluran air. Pertumbuhan eceng gondok dalam waktu 6 bulan mencapai 125 ton berat basah pada area 1 hektar (Heyne, 1987). Bentuknya padat, membentuk lapisan seperti tikar yang tidak dapat ditembus di atas permukaan air, dan dampak spesifik lainnya seperti memblokir saluran irigasi dan sungai, membatasi akses air untuk peternakan, menghancurkan lahan basah alami, menghilangkan tanaman air asli, mengurangi infiltrasi sinar matahari, mengubah suhu, pH dan kadar oksigen air, mengurangi pertukaran gas di air permukaan, meningkatkan kehilangan air melalui transpirasi (lebih besar dari penguapan dari badan air terbuka), mengubah habitat organisme air, membatasi penggunaan rekreasi saluran air, mengurangi nilai estetika saluran air, mengurangi kualitas air dari tanaman yang membusuk, menghancurkan pagar, jalan dan infrastruktur lainnya ketika besar rakit apung menjadi bergerak selama peristiwa banjir, dan menghancurkan padang rumput (Istirokhatun et al., 2015).

Sehingga, masalah ini membutuhkan perhatian segera. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan eceng gondok sebagai bahan baku pembuatan membran selulosa asetat. Eceng gondok sendiri mengandung senyawa selulosa kimia yang sangat tinggi, sekitar 64,51%(Pinnata & Damayanti, 2012). Penelitian lain juga melaporkan kandungan selulosa yang tinggi pada eceng gondok (yaitu selulosa 25%, hemiselulosa 33%, dan lignin 10%) berpotensi untuk digunakan sebagai bahan baku polimer dasar selulosa yang memiliki nilai ekonomis lebih tinggi. Pada penelitian sebelumnya oleh Marimuthu and Atmakuru (2015) telah mengisolasi selulosa dari eceng gondok. Di samping itu, produksi polimer berbasis selulosa menggunakan bahan daun nanas juga telah dilakukan(Egot & Alguno, 2018). Saljoughi, Sadrzadeh, and Mohammadi (2009) melakukan penelitian tentang pengaruh variabel pra perlakuan terhadap struktur morfologi dan fluks asimetris membran dibuat dari selulosa asetat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi konsentrasi polimer berpengaruh terhadap kinerja membran.

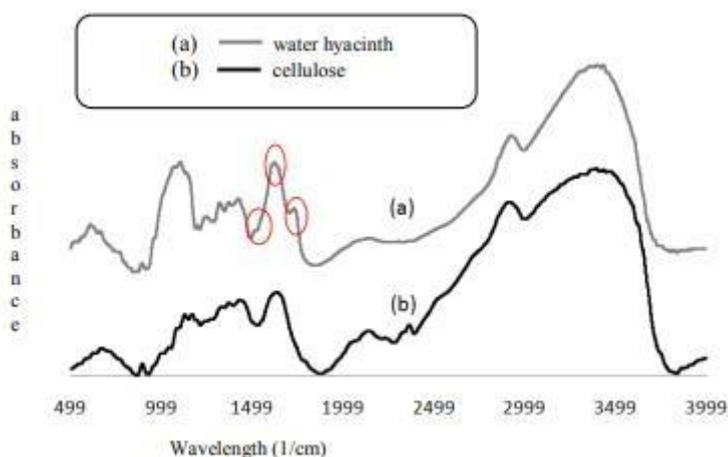
Selain itu sumber biomassa yang sangat baik dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku bioenergi. Gasifikasi satu ton bahan kering dengan udara dan uap pada suhu tinggi (800 °C) memberikan sekitar 1.100 m<sup>3</sup> gas alam (143 Btu/cuft) yang mengandung 16,6% H<sub>2</sub>, 4,8% metana, 21,7% CO, 4,1% CO<sub>2</sub>, dan 52,8% N. Namun demikian, kadar air eceng gondok yang tinggi menyebabkan biaya penanganan yang tinggi, cenderung membatasi usaha komersial(Duke, 1983).



**Gambar 1. 8** Eceng gondok (Hauptfleisch, 2015)

Dari **Gambar 1.9** dapat diamati bahwa hasil spektrum IR eceng gondok menampilkan puncak pada panjang gelombang sebesar  $1734,08\text{ cm}^{-1}$ , yang menunjukkan adanya asetil dan ester pada rantai gugus karboksil asam p-koumeril serta menunjukkan adanya lignin dan hemiselulosa. Hasil ini sesuai dengan pekerjaan sebelumnya yang disajikan oleh Marimuthu and Atmakuru (2015). Terdapat pula puncak pada panjang gelombang  $1519\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya gugus  $\text{C}=\text{C}$  pada cincin aromatik lignin.

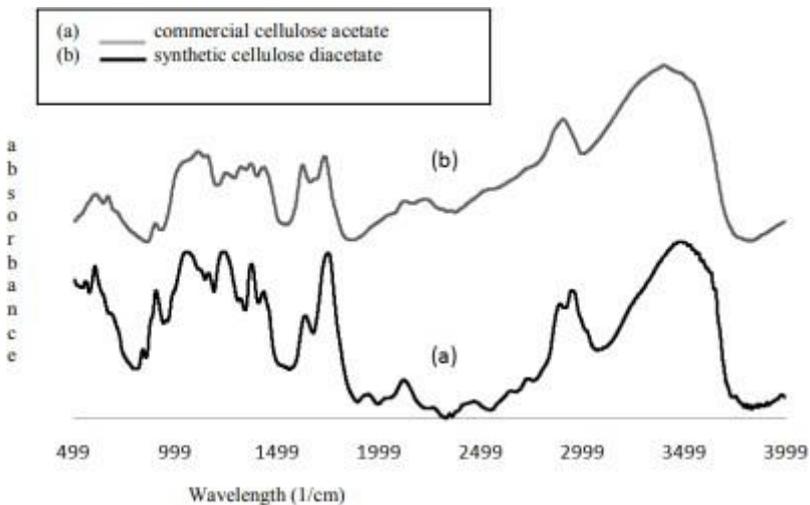
Hemiselulosa dilihat dari adanya puncak pada panjang gelombang 1622,20  $\text{cm}^{-1}$ . Ketiga kelompok menunjukkan adanya pengotor berupa hemiselulosa dan lignin. Spektrum IR dari selulosa menunjukkan bahwa beberapa puncak telah hilang akibat proses pemurnian yang telah dilakukan. Di sisi lain, hasil spektrum IR selulosa mempertahankan puncak pada panjang gelombang 3404  $\text{cm}^{-1}$  dan 2920  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya gugus C-H dan O-H, dimana kedua gugus tersebut merupakan gugus fungsi utama selulosa. Itu spektrum yang dihasilkan menunjukkan bahwa pengotor yang terkandung dalam eceng gondok telah dihilangkan. Kemudian kemurnian tinggi selulosa yang dihasilkan.



**Gambar 1. 9** FTIR material eceng gondok dan selulosa asetat dari eceng gondok (Istirokhatun et al., 2015)

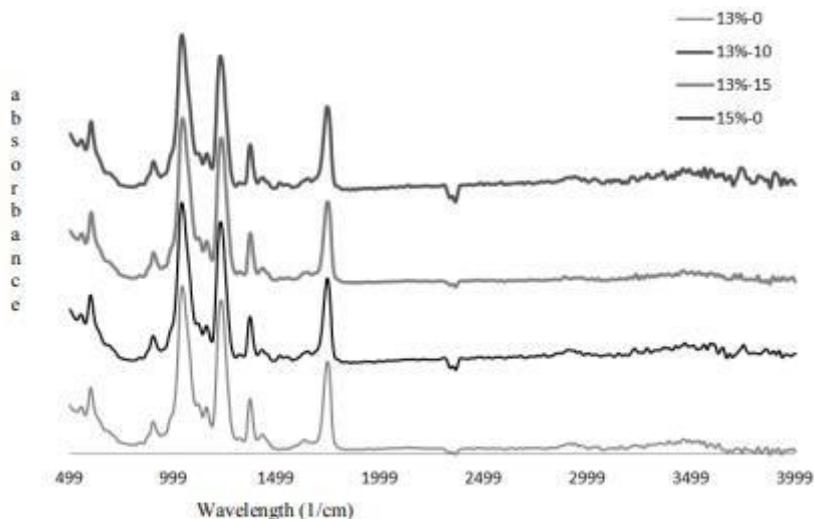
Analisis komparatif antara kelompok fungsional dari selulosa asetat yang dihasilkan dari eceng gondok dan selulosa asetat komersial juga dilakukan (**Gambar 1.10**). Hasilnya menunjukkan bahwa spektrum IR dari selulosa asetat yang dihasilkan dan

selulosa asetat komersial yang serupa menunjukkan bahwa isolasi dan asetilasi telah dilakukan dengan baik. Secara keseluruhan, setiap 100 gram eceng gondok kering menghasilkan 5,6 gram selulosa diasetat. Dengan demikian, rendemen yang diperoleh pada pembuatan selulosa diasetat dari eceng gondok sekitar 5,6%



**Gambar 1. 10** FTIR selulosa asetat komersial dan selulosa diasetat sintesis (Istirokhatun et al., 2015)

Berdasarkan hasil pengujian analisis FTIR dapat diketahui bahwa semua membran memiliki C=O golongan, CH<sub>3</sub> dan -COOH seperti yang ditunjukkan dengan panjang gelombang yang terdapat pada **Gambar 1.11** dan **Tabel 1.7** Secara keseluruhan tidak ada perbedaan struktur kimia diamati untuk membran yang dibuat dengan waktu penguapan yang berbeda, artinya penguapan tidak mengubah struktur kimia membran yang dihasilkan.



**Gambar 1. 11 .** Spektrum IR membran selulosa asetat dari eceng gondok dengan variasi konsentrasi dan waktu penguapan(Istirokhatun et al., 2015)

**Tabel 1. 7** Gugus fungsi pada membrane selulosa asetat dari eceng gondok

No	Functional group	Wavelength (cm <sup>-1</sup> )			
		13% - 0 second	13% - 10 seconds	13% - 15 seconds	15% - 0 seconds
1	C=O	1744.69	1743.72	1744.69	1743.72
2	CH <sub>3</sub>	1371.45	1370.48	1370.48	1370.48
3	-COOH	1231.60	1229.67	1231.60	1227.74

**Sumber:** (Istirokhatun et al., 2015)

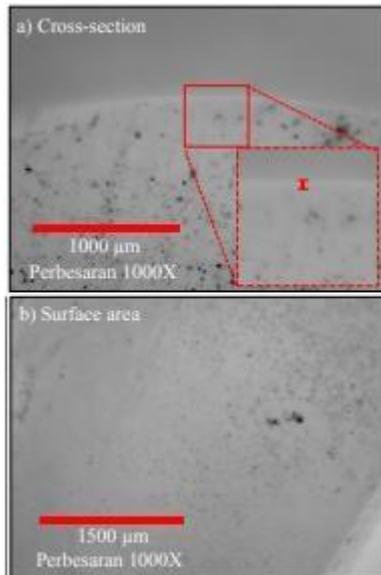
Selain eceng gondok, templated karbon nipah pada silika matriks merupakan suatu inovasi untuk meningkatkan kekuatan membran inorganik silika (Rezki et al., 2020). Silika sendiri memiliki hidrostabilitas yang rendah. Dengan menggabungkannya bersama nipah, performa membran akan lebih stabil saat diaplikasikan pada

proses desalinasi. Membran nipah-silika dibuat dengan templating karbon nipah berasal dari daun nypa fruticans ke dalam sol silika dengan metode sol-gel. Kemudian membran support di-dipcoating ke dalam sol nipah-silika menggunakan dipcoater dan dikalsinasi dengan teknik rapid thermal processing (RTP).

Struktur membran nipah silika tampak pada (**Gambar 1.12a**) penampang melintang (cross-section) dan b) tampak permukaan area diamati menggunakan mikroskopik digital mini. Hasil foto perbesaran 1000X membran nipah-silika 2,5% yang dikalsinasi pada suhu 350°C ditunjukkan pada **Gambar 1.12** Dapat dilihat bahwa terdapat bintik-bintik hitam pada permukaan membran akibat adanya templated atau penyisipan karbon nipah ke dalam matriks silika seperti yang ditunjukkan **Gambar 1.12(b)**. Karbon nipah tersebut berfungsi sebagai template agen yang bertugas untuk meningkatkan hidrostabilitas pori silika. Hasil tersebut sama dengan penelitian yang telah dilaporkan oleh Muthia Elma, Fitriani, Rakhman, and Hidayati (2018) dan Rahma, Elma, Pratiwi, and Rampun (2020) yang menyisipkan karbon P123 dan karbon dari pektin kulit apel untuk membuat membran silika-karbon. Selain itu didapatkan ketebalan thin film nipah-silika relatif tipis seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 1.12(a)**.

Ketebalan top layer atau lapisan atas membran nipah-silika yang didapatkan adalah berkisar 1-2  $\mu\text{m}$  (**Gambar 1.12(a)**). Hasil ketebalan top layer membran nipah-silika cenderung lebih tebal dibandingkan dengan membran silika-P123 yang dihasilkan pada penelitian Muthia Elma, Wang, Yacou, and Diniz da Costa (2015). Hal ini terjadi karena metode kalsinasi yang dipakai pada penelitian

ini adalah RTP (rapid thermal processing), sedangkan penelitian yang dilaporkan oleh Muthia Elma et al. (2015) menggunakan metode CTP (conventional thermal processing).



**Gambar 1. 12 Crossection dan permukaan membrane nipah (Rezki et al., 2020)**

Pektin adalah senyawa polisakarida kompleks dalam dinding sel tumbuhan yang banyak terdapat pada tanaman pangan, seperti yang ditampilkan (Kertesz 1951). Pektin berfungsi sebagai bahan perekat antara dinding sel yang satu dengan yang lainnya (Maulana, 2015). Pektin merupakan senyawa polimer yang dapat mengikat air, membentuk gel atau mengentalkan cairan (Isdayanti, Rasidi, & Elma, 2016). Pektin umumnya digunakan pada industri makan dan pertanian yaitu untuk *packaging* yang ramah lingkungan,

edible film (Giosafatto et al., 2014) dan pengental (Maftoonazad, Ramaswamy, Moalemiyan, & Kushalappa, 2007). Sementara itu, membran yang hanya difabrikasi dari pektin (tanpa ditambahkan silika), menyebabkan membran larut dalam air karena sifat dari pektin tersebut (Nesic et al., 2017). Menurut Pratiwi (2019) pektin memiliki karakteristik mudah larut dalam air, mudah untuk diendapkan, dipisahkan serta dilarutkan kembali tanpa kehilangan kapasitas pembentukan gelnya. Riset lanjutan dilakukan oleh Rangelova, Aleksandrov, and Nenkova (2018) yang mensintesis hybrid silika-pektin membran menggunakan metode multi-step sol-gel (katalis asam) dengan kombinasi TEOS dan pektin dari apel serta pernah dilakukan aplikasi pada proses desalinasi.

Adapun untuk pemisahan pektin dari sumber tanaman dapat dilakukan dengan metode ekstraksi menggunakan asam. Dalam proses ekstraksi pektin, pelarut yang biasa digunakan adalah air, beberapa senyawa organik senyawa asam dan basa. Selama proses ekstraksi pektin akan terjadi perubahan senyawa pektin akibat proses hidrolisis proto pektin yang berubah menjadi pektinat (pektin) pada suhu pemanasan dan waktu ekstraksi tertentu (Nurhikmat, 2003). Dalam proses ekstraksi pektin faktor yang berperan penting adalah pH, suhu dan lama hidrolisis. Ketiga faktor tersebut dapat mempengaruhi karakteristik dari pektin yang dihasilkan.

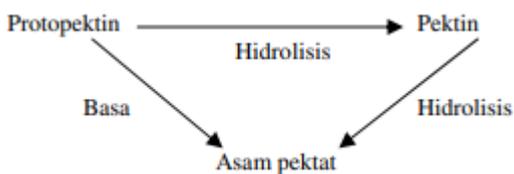
Pada kondisi suhu tinggi dapat memudahkan proses difusi pelarut ke dalam jaringan tanaman sehingga proses hidrolisis berjalan optimal pada bagian dalam sel primer khususnya *lamella* tengah. Berbeda halnya dengan waktu ekstraksi yang semakin lama dapat mengakibatkan hidrolisis pektin asam galakturonat. Hasil serupa juga diperoleh jika pH ekstraksi berada pada kondisi asam. Ikatan glikosidik gugus metil ester akan terhidrolisis menghasilkan asam galakturonat (Ristianingsih, Nata, Anshori, & Putra, 2014).

Hal yang perlu diperhatikan dalam pemanfaatan pektin adalah kadar metoksil dan kadar galakturonat. Apabila pektin yang dihasilkan memiliki kadar metoksil tinggi maka tidak dapat langsung diproduksi dan harus dilakukan proses demetilasi. Kadar galakturonat berperan dalam menentukan sifat fungsional pektin, struktur dan tekstur dari gel pektin. Pemanfaatan dan penggunaan pektin yang pernah dilakukan adalah sebagai pengental pada makanan, dibuat menjadi tepung, pelapis untuk pengawetan makanan (*edible film*), zat pengemulsi, sebagai pengental lateks pada industri karet (Pratiwi, 2019).

Tanaman pisang banyak terdapat di lahan basah. sang merupakan salah satu jenis tanaman buah-buahan penting sebagai sumber gizi, terutama sebagai sumber karbohidrat, vitamin, dan mineral. Tanaman pisang mudah tumbuh di berbagai kondisi lingkungan, baik dibudidayakan maupun

tanpa perawatan. Budidaya tanaman pisang ini cukup mudah dan prospektif dalam meningkatkan pendapatan (Antarlina, Noor, Umar, & Noor, 2005). Hampir di seluruh wilayah Indonesia merupakan daerah penghasil pisang, hal ini karena iklim Indonesia sesuai untuk pertumbuhan tanaman pisang.

Pektin banyak terkandung di dalam kulit pisang. Penelitian melaporkan kulit pisang memiliki pektin sebesar 28%(Rajendran, Thampi, & Technology, 2019). Menurut Nurhikmat (2003), pemisahan pektin dari jaringan tanaman dapat dilakukan dengan cara ekstraksi. Pektin dapat larut dalam beberapa macam pelarut seperti air, beberapa senyawa organik, senyawa alkalis dan asam. Dalam ekstraksi pektin terjadi perubahan senyawa pektin yang disebabkan oleh proses hidrolisis protopektin. Proses tersebut menyebabkan protopektin berubah menjadi pektinat (pektin) dengan adanya pemanasan dalam asam pada suhu dan lama ekstraksi tertentu. Apabila proses hidrolisis dilanjutkan senyawa pektin akan berubah menjadi asam pektat (**Gambar 1.13**).



**Gambar 1. 13** Skema perubahan protopectin menjadi pektin dan asam pektat(Tuhuloula, Budiarti, & Fitriana, 2013)

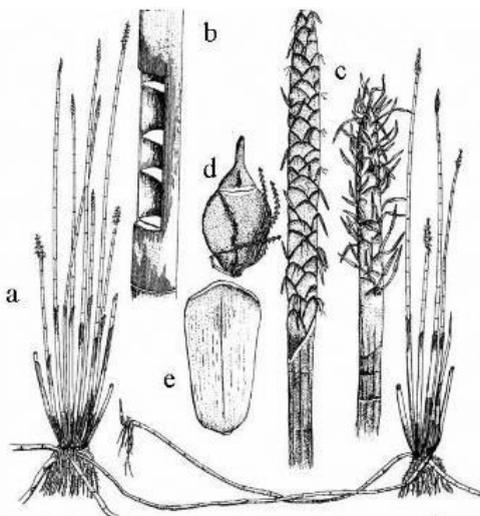
Penelitian lain mengekstrak kulit pisang menggunakan pengestrakan air panas termampat (140-160°C, 5 menit, saiz zarah 1.18 mm). Kandungan fizikokimia pektin kulit pisang didapati berada dalam lingkungan yang sama dengan pektin komersil, yang terdiri daripada kelembapan (7.44-8.47%), abu (3.45-4.98%), protein (1.08-1.92%), lemak (0.04-3.42), karbohidrat (83-86%), jumlah gula (1.77-3.41%), tenaga (353-369 kcal/100g) dan panas spesifik (1.42-1.62 kJ/kg°C)(Azwani et al., 2018).

### **1.3.3 Komposit**

Bahan komposit menggabungkan dua atau lebih bahan untuk membentuk unit mikroskopis, yang dibuat dari berbagai kombinasi sifat atau kombinasi bahan pengikat dan material (Nugraha, Kadek, Nyoman, & Gede, 2016). Serat biasanya digunakan sebagai penguat pada material komposit tulangan, serat menentukan sifat-sifat komposit yang dihasilkan dengan mendistribusikan. Saat ini industri cenderung menggunakan serat alam yang lebih ramah lingkungan karena terdegradasi secara alami, dan harga serat alam lebih rendah daripada serat sintesis. Selain itu, serat alam memiliki kepadatan rendah, biodegradable, daur ulang dengan mudah, membutuhkan energi yang rendah dalam produksi, memiliki sifat mekanik yang baik, dan terbarukan (Guillaumat et al., 2018). Selain itu, serat alam merupakan kandidat sebagai bahan penguat untuk diproduksi material komposit yang ringan, kuat, ramah lingkungan, dan ekonomis (Maryanti, Sonief, & Wahyudi, 2011). Kebutuhan serat alam cenderung meningkat

seiring dengan meningkatnya permintaan terhadap lingkungan bahan ramah.

Dalam hal ketersediaan serat alam, Provinsi Kalimantan Selatan memiliki cukup banyak. Salah satunya adalah purun tikus (*Eleocharis dulcis*) (**Gambar 1.14**) yang merupakan tumbuhan liar di daerah rawa. Pertumbuhan yang cepat dari purun tikus menyebabkannya dikategorikan sebagai gulma. Hingga saat ini purun tikus digunakan untuk kerajinan tangan dan makanan kerbau berenang (Asikin & Thamrin, 2012).



**Gambar 1. 14** Purun tikus (Yav, 2014)

Pada penelitian sebelumnya purun tikus memiliki struktur yang terdiri dari lignin, hemiselulosa, dan selulosa, dan diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai serat alam. Selulosa pada purun tikus adalah bahan penguat, sementara lignin dan hemiselulosa memberikan kekakuan dan perlindungan terhadap serat. Sebelum digunakan sebagai serat alam, purun tikus perlu diolah terlebih

dahulu dengan menggunakan basa solusi untuk mengurangi elemen serat yang tidak terpakai seperti hemiselulosa, lignin, pektin, dan lainnya sehingga hanya selulosa yang tersisa dalam serat. Perlakuan basa diharapkan mampu menghilangkan kandungan yang mengikat selulosa pada serat purun tikus. Tujuan dari proses pengolahannya adalah dengan memecah struktur lignin, memecah kristal selulosa, meningkatkan porositas bahan, memecah hemiselulosa, dan depolimerisasi hemiselulosa. Dengan adanya perlakuan alkali juga dapat memperkecil ukuran serat yang pada akhirnya akan memperbesar kontak antara permukaan dan dapat meningkatkan sifat mekanik (Haryanti, Suryajaya, Banowati, Rahmah, & Safi'i, 2021).

Beberapa penelitian menyatakan bahwa ada pengaruh penggunaan larutan  $\text{KMnO}_4$  dan  $\text{NaOH}$  terhadap serat alam (Kosjoko, Sonief, & Sutikno, 2012; Witono, Irawan, Soenoko, & Suryanto, 2014).  $\text{KMnO}_4$  merupakan senyawa anorganik dan sering digunakan sebagai agen oksidator kuat. Demikian pula,  $\text{NaOH}$  tergolong basa kuat yang dapat digunakan untuk ekstraksi selulosa. Hasil yang diperoleh menunjukkan adanya perubahan yang signifikan dan efektif pada perlakuan basa serat alam dengan berbagai konsentrasi. Perbedaan konsentrasi dan waktu perendaman telah diterapkan pada serat alami yang berbeda. Tujuannya adalah untuk menghasilkan properti mekanik yang memiliki optimal.

Tanaman purun tikus memiliki kadar air yang tinggi karena tumbuh di rawa-rawa. Kandungan dalam serat dapat menurunkan kualitas komposit, sehingga perlu dilakukan analisis purun serat

tikus. Pada **Tabel 1.9** rata-rata kadar air purun tikus tanpa perlakuan adalah 14,7734%, dan dengan perlakuan  $\text{KMnO}_4$ , 2% adalah 18,3092%, sedangkan perlakuan NaOH 5% adalah 17,11%. Hasil ini tidak memenuhi standar SNI 06-3730-1995, dimana maksimum kadar airnya 15%. Hal ini disebabkan oleh NaOH bereaksi dengan serat dan melepaskan ikatan hidrogen pada jaringan struktur serat. Peningkatan kadar air pada purun tikus serat setelah perlakuan dapat terjadi karena sampel purun tikus yang tidak diberi perlakuan dikeringkan dalam waktu yang lama (3 bulan), sehingga kadar air dalam sampel sangat rendah sehingga Lignin adalah jenis ketika direndam dalam larutan alkali, serat akan menyerap air. polimer organik yang berperan penting dalam struktur tanaman. Kandungan lignin masing-masing tanaman memiliki persentase yang berbeda. Lignin memberikan inelastisitas pada struktur tanaman. Dalam memanfaatkan alam serat sebagai bahan komposit, kelebihan lignin dapat mempengaruhi kualitas komposit merupakan salah satu komponen utama dinding sel tumbuhan dan merupakan polimer fenolik alami dengan berat molekul, komposisi kompleks, dan struktur. Lignin banyak berkontribusi pada pertumbuhan tanaman, perkembangan jaringan/organ, ketahanan terhadap redaman, dan respon terhadap berbagai tekanan biotik dan abiotik (Q. Liu, Luo, & Zheng, 2018).

Pada **Tabel 1.8**, rata-rata persentase lignin tanpa perlakuan adalah 45,03%, dan dengan  $\text{KMnO}_4$  2%, perlakuan 15,82%, dan NaOH 5% 13,97% terlihat adanya penurunan kadar lignin pada serat purun tikus yang diberi perlakuan perendaman  $\text{KMnO}_4$  2% dan NaOH 5%. Hal ini sesuai dengan tujuan perlakuan basa yaitu

menghilangkan lignin dari lamella tengah (area antara serat tumbuhan yang kaya lignin) untuk memisahkan serat selulosa. Tujuan lainnya adalah agar serat mudah terikat saat dicampur dengan bahan lain dalam pembuatan komposit diharapkan perlakuan  $\text{KMnO}_4$  2% dan NaOH 5% dapat meningkatkan adhesi antar muka kimia yang saling terkait antara serat dan matriks serat alam sebagai campuran komposit, kandungan lignin yang berlebih dapat menurunkan kualitas yang diperoleh (Boopathi, Sampath, & Mylsamy, 2012).

**Tabel 1. 8** Komposisi purun tikus tanpa perlakuan dan dengan perlakuan

Treatment	Sample	Concentration (%)				Density (g/cm <sup>3</sup> )	Tensile strength (kg/cm <sup>2</sup> )
		Water	Lignin	Cellulose	Hemi cellulose		
Without treatment	1	15.09	54.98	54.54	1.67	0.10	3.92
	2	14.30	42.18	54.29	3.36	0.10	3.89
	3	14.93	37.93	55.40	2.47	0.10	4.17
	<b>Avg</b>	<b>14.77</b>	<b>45.03</b>	<b>54.74</b>	<b>2.50</b>	<b>0.10</b>	<b>3.99</b>
$\text{KMnO}_4$ 2%	1	19.23	14.29	21.16	0.80	0.20	1.86
	2	18.19	14.41	23.28	0.97	0.33	1.86
	3	17.51	18.76	23.29	0.98	0.25	2.03
	<b>Avg</b>	<b>18.31</b>	<b>15.82</b>	<b>22.58</b>	<b>0.92</b>	<b>0.26</b>	<b>1.92</b>
NaOH 5%	1	17.21	13.71	16.72	0.61	0.20	2.97
	2	18.05	13.13	22.95	0.99	0.19	2.64
	3	16.06	15.05	17.62	1.29	0.19	2.86
	<b>Avg</b>	<b>17.11</b>	<b>13.96</b>	<b>19.10</b>	<b>0.96</b>	<b>0.19</b>	<b>2.82</b>

Sumber: (Haryanti et al., 2021)

Kandungan lignin sebelum diberi perlakuan berada pada kategori tinggi yaitu lebih dari 33%, namun setelah direndam dalam  $\text{KMnO}_4$  2% dan NaOH 5% kadar lignin berubah menjadi kategori rendah yaitu kurang dari 18%. Penelitian menggunakan serat buah borassus yang diberi NaOH juga menunjukkan penurunan kadar

lignin (Wibisono, Jasni, & Arsyad, 2018). Struktur lignin pada tumbuhan dapat dihancurkan dengan menggunakan larutan NaOH basa. Sehingga penggunaan perlakuan basa pada purun tikus juga dapat menurunkan kadar lignin (J. P. Reddy & Rhim, 2018).

Selulosa adalah zat utama yang ditemukan di dinding sel tumbuhan dan membantu tumbuhan tetap kaku dan kuat. Selulosa dapat digunakan sebagai serat alami untuk campuran komposit. Purun tikus mengandung selulosa yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai serat alam. Pada TABEL 1, dapat dilihat bahwa rata-rata kandungan selulosa yang diperoleh tanpa perlakuan adalah 54,74%, dan dengan perlakuan  $\text{KMnO}_4$  2% adalah 22,58%, dan NaOH 5% adalah 19,10%. Persentase selulosa dalam purun tikus menurun setelah diberi perlakuan  $\text{KMnO}_4$  dan NaOH. Menurut Witono et al. (2014), perlakuan basa dapat mengurangi komposisi struktur tanaman karena beberapa diantaranya: amorf.

Selain itu, hal ini terjadi karena ikatan rantai selulosa di bagian amorf terhubung ke lignin dan hemiselulosa direduksi sehingga bagian selulosa juga larut dalam perlakuan basa. Terdapat sebagian rantai selulosa yang tersusun tidak beraturan dalam struktur selulosa, menghasilkan daerah amorf dalam selulosa. Selama perlakuan awal alkali, amorf ikatan silang hemiselulosa dan lignin dengan selulosa dilarutkan melalui penghancuran ikatan ester (Sun, Sun, Cao, & Sun, 2016). Penelitian menggunakan serat tebu dan kulit durian yang bersifat basa. Perlakuan NaOH didapatkan kandungan selulosa tertinggi yaitu sebesar 87,37% pada

konsentrasi NaOH 3,5% dengan waktu perendaman 90 menit (Masyitah & Aritonang, 2019).

Hemiselulosa merupakan bagian dari struktur tumbuhan purun tikus yang berperan sebagai matriks alami. Hemiselulosa terdiri dari kumpulan polisakarida dengan derajat yang lebih rendah polimerisasi jika dibandingkan dengan selulosa. Hemiselulosa adalah salah satu dari sejumlah heteropolimer (matriks polisakarida), seperti arabinoxylans, dan hadir di hampir semua dinding sel tumbuhan bersama dengan selulosa. Hemiselulosa diperlukan dalam memperkuat dinding sel melalui interaksi dengan selulosa dan lignin. Ekstraksi selulosa akan mengurangi kadar hemiselulosa pada purun tikus.

Berdasarkan penelitian diperoleh bahwa analisis hemiselulosa purun tikus tanpa perlakuan rata-rata 2,50%, sedangkan dengan perlakuan  $\text{KMnO}_4$  2% adalah 0,92% dan NaOH 5% diperoleh 0,97%. Kadar hemiselulosa pada serat purun tikus menurun setelah diperlakukan dengan  $\text{KMnO}_4$  2% dan NaOH 5%. Hasil ini sesuai dengan tujuan mengisolasi selulosa dari lignin dan hemiselulosa. Penghilangan lignin dan hemiselulosa biasanya dilakukan dalam produksi bahan berbasis selulosa seperti microfiber (Devard, Taleb, Olmos, Marchesini, & Gutierrez, 2021; Saputri & Sukmawan, 2020).

Serat alam memiliki densitas yang lebih rendah jika dibandingkan dengan serat sintetis, sehingga serat alam dapat digunakan sebagai bahan komposit ringan. Hal ini terlihat dari kepadatannya. Densitas rata-rata serat purun tikus tanpa perlakuan adalah  $0,1005 \text{ g/cm}^3$ , sedangkan dengan  $\text{KMnO}_4$ , perlakuan 2%

adalah  $0,2617 \text{ g/cm}^3$ , dan dengan perlakuan NaOH 5% diperoleh densitas adalah  $0,1936 \text{ g/cm}^3$ . Densitas serat purun tikus yang diberi perlakuan  $\text{KMnO}_4$  2% dan NaOH terdapat peningkatan. Peningkatan densitas pada penelitian ini diduga disebabkan oleh serat purun tikus yang tidak diolah terlalu kering dan menyerap air saat dilakukan uji densitas keluar. Oleh karena itu densitas serat yang tidak diberi perlakuan lebih rendah dibandingkan dengan densitas serat setelah perlakuan. Dari penelitian lain, densitas harus diturunkan karena, dengan perlakuan basa, kandungan kimia seperti lignin, hemiselulosa, dan kotoran lain dari serat berkurang dan menciptakan ruang kosong di dalam serat. Ini akan mengurangi kepadatan serat. Di barisan dengan penelitian Kencanawati menggunakan serat kulit buah pinang yang diberi perlakuan NaOH menunjukkan bahwa densitas serat menurun setelah diberikan perlakuan basa (Kencanawati, Sugita, Suardana, & Budiasa, 2018).

Sifat mekanik dapat diartikan sebagai respon atau perilaku material terhadap suatu kondisi tertentu beban, dan dapat berupa gaya, torsi, atau kombinasi keduanya. Sifat mekanik dari bahan serat dapat dinyatakan dalam beberapa parameter, termasuk kekuatan tarik. Tarik kekuatan adalah salah satu sifat dasar yang paling penting dan sering digunakan untuk mengkarakterisasi bahan. Kekuatan tarik adalah kekuatan maksimum berdasarkan ukuran aslinya (Witono et al., 2014).

Kuat tarik serat purun tikus adalah  $1,3,99 \text{ kg/cm}^2$  tanpa perlakuan, sedangkan untuk perlakuan alkali adalah  $1,92$  dan  $2,82 \text{ kg/cm}^2$  untuk  $\text{KMnO}_4$  2% dan NaOH 5%, masing-masing. Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat diketahui bahwa kuat tarik

serat purun tikus mengalami penurunan setelah diberi perlakuan  $\text{KMnO}_4$  2% dan  $\text{NaOH}$  5%. Ini terjadi karena lignin yang berguna untuk memperkuat ikatan pada serat alam dihilangkan selama proses delignifikasi. Meskipun proses de-lignifikasi dimaksudkan untuk memfasilitasi pengikatan serat dan matriks ke pencampuran komposit, itu mempengaruhi Tarik kekuatan serat. Alkali mempengaruhi perilaku struktural nanoselulosa untuk ekspansi dan penyusutan serat, laju aglomerasi, dan mengganggu kekuatan tarik(Rambabu, PAnthapulakkal, Sain, & Dalai, 2016) .

Penurunan kekuatan tarik ini disebabkan oleh berkurangnya struktur tanaman. Struktur utama serat tanaman purun tikus terdiri dari lignin, hemiselulosa, dan selulosa. Lignin memberi kekakuan tanaman dan bersifat hidrofobik. Hemiselulosa bertindak sebagai matriks yang mengikat selulosa. Selulosa merupakan bagian terpenting yang terdapat pada hampir semua tumbuhan. Pengobatan alkali dari  $\text{KMnO}_4$  dan  $\text{NaOH}$  mengurangi kadar lignin dan hemiselulosa dalam struktur tanaman. Pengurangan ini di tingkat membuat struktur tanaman tidak teratur. Faktor lain yang dapat mempengaruhi hasil tarik kekuatan dengan perlakuan basa adalah waktu perendaman yang digunakan. Serat alam diperoleh paling tinggi kekuatan tarik dengan perlakuan  $\text{NaOH}$  5% alkali dan waktu perendaman 2 jam. Lebih lama waktu perendaman akan menurunkan kekuatan tarik.

Sifat hidrofilik adalah masalah utama untuk serat alami ketika digunakan sebagai penguat dalam bahan komposit. Kadar air serat, tergantung pada bagian non-kristalin dan isi kekosongan atau kekosongan. Sifat hidrofilik serat alam mempengaruhi sifat mekanik

keseluruhan serta sifat fisik serat. hidrofilik ini properti harus dipertimbangkan saat menggunakan serat purun tikus.

Secara umum, diameter serat yang lebih kecil akan memiliki kekuatan komposit yang lebih tinggi. Bahan serat alami, khususnya serat purun tikus, merupakan kandidat sebagai bahan penguat untuk memproduksi bahan komposit ringan. Hal ini dapat dilihat dari densitas serat purun tikus. Densitas serat purun tikus tanpa perlakuan adalah  $0,1005 \text{ g/cm}^3$ , sedangkan dengan  $\text{KMnO}_4$  2% perlakuan adalah  $0,2617 \text{ g/cm}^3$ , dan dengan perlakuan  $\text{NaOH}$  5% diperoleh  $0,1936 \text{ g/cm}^3$ .

Sedangkan lignin dan selulosa serat purun tikus dengan perlakuan de-lignifikasi menggunakan  $\text{NaOH}$  5% dan  $\text{KMnO}_4$  2% menurun 30% dibandingkan tanpa perlakuan. Diharapkan purun serat tikus dapat digunakan dalam pembuatan komposit dan memberikan nilai tambah secara ekonomis (Haryanti et al., 2021).

Lebih jelasnya mengenai karakteristik kimia dan fisika dari tanaman fiber alami tertera dalam **Tabel 1.9**

**Tabel 1. 9** Karakteristik fisik dan mekanika beberapa fiber alami

Fibers	Width or diameter ( $\mu\text{m}$ )	Density ( $\text{kg/m}^3$ )	Cell l/d ratio	Microfibrillar angle (degrees)	Initial modulus (GPa)	Ultimate tensile strength (MPa)	Elongation (%)
Coir	100–450	1150	35	30–40	4–6	106–175	17–47
Banana	80–250	1350	150	$10 \pm 1$	7.7–20.0	54–754	10.35
Sisal	50–200	1450	100	10–22	9.4–15.8	568–640	3–7
Pineapple leaf	20–80	1440	450	8–14	34.5–82.5	413–1627	0.8–1
Palmyra	70–1300	1090	43	29–32	4.4–6.1	180–215	7–15

Sumber: (Satyanarayana, Sukumaran, Mukherjee, Pavithran, & Pillai, 1990)

Ini adalah fakta yang terkenal bahwa pisang adalah salah satu tanaman budidaya tertua di dunia. Kata 'pisang' berasal dari

bahasa Arab dan berarti 'jari'. Itu milik Keluarga Musaceae dan ada sekitar 300 spesies, tetapi hanya 20 varietas yang dikonsumsi. Sekitar 70 juta metrik ton pisang diproduksi setiap tahun oleh daerah tropis dan subtropis di dunia (Joshi, Drzal, Mohanty, & Arora, 2004; Mueller & Krobjilowski, 2003; Umair, 2006). Fakta nutrisi dari pisang (100 g pulp) adalah sebagai berikut: karbohidrat 18,8 g; protein 1,15 gram; lemak 0,18 g; air 73,9 gram; vitamin C1 B1 B2 B6 E, mineral lainnya 0,83 g dan 81 kkal (Bilba, Arsene, & Ouensanga, 2007). Pisang pohon umumnya menghasilkan 30 daun besar (panjang hampir 2 m dan lebar 3060 cm)(Sgriecia, Hawley, & Misra, 2008).

Kulkarni dkk. [18] menyelidiki struktur seluler serat pisang menggunakan optic mikroskopi. Hal ini menunjukkan serat pisang terdiri dari empat macam sel yaitu xilem, floem, schlerenchyma, dan parenchyma. **Tabel 1.10** mencantumkan berbagai sel yang diamati dalam serat dengan diameter berbeda. Selanjutnya, dalam penelitian ini mereka mengamati bagaimana sifat mekanik bervariasi mengacu pada diameter serat, yang ditunjukkan **Tabel 1.11**.

**Tabel 1. 10** Struktur seluler serat pisang

Diameter of fiber (µm)	Avg. no. of xylem cells	Avg. no. of phloem cells	Avg. no. of sclerenchyma cells	Total no. of cells	Fraction of sclerenchyma cells to the total no. of cells(strength donating)	Helix or Microfibrilla angle (θ)
100	3	6.25	53	62.25	0.850	12 ± 1°
150	3	8.00	70	81.00	0.875	11 ± 2°
200	4	7.75	92	103.25	0.886	11 ± 1°

Sumber: (Kulkarni, Satyanarayana, Rohatgi, & Vijayan, 1983)

**Tabel 1. 11** Sifat mekanik serat

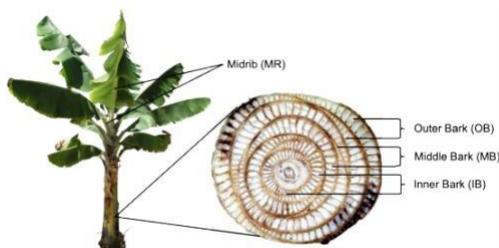
Sample number	Diameter of fiber ( $\mu\text{m}$ )	Initial Young's modulus ( $\text{GN/m}^2$ )	SD initial Young's modulus ( $\text{GN/m}^2$ )	Breaking strength ( $\text{MN/m}^2$ )	SD breaking strength ( $\text{MN/m}^2$ )	% Strain	SD % strain
1	50	32.703	8.190	779.078	209.300	2.750	0.957
2	100	30.463	4.689	711.661	239.614	2.469	0.798
3	150	29.748	8.561	773.002	297.104	3.583	1.114
4	200	27.698	7.083	789.289	128.558	3.340	0.688
5	250	29.904	4.059	766.605	165.515	3.244	1.284

Sumber: (Kulkarni et al., 1983)

Penggunaan serat pisang sebagai bahan penguat pada komposit berbasis semen dan polimer ditinjau dari sudut pandang status, struktur, sifat fisik, dan mekanik dan perlakuan permukaan yang berbeda dari komposit berbasis serat pisang. Karena kepadatan rendah, kekuatan tarik tinggi, modulus tarik tinggi, dan perpanjangan putus serat pisang yang rendah, komposit berdasarkan serat ini memiliki potensi penggunaan yang sangat baik di berbagai sektor seperti: konstruksi, otomotif, mesin, dll., Karena India adalah salah satu penghasil pisang terbesar negara-negara di dunia pemanfaatan serat dan limbahnya untuk menghasilkan komponen yang bermanfaat akan sangat menarik bagi perekonomian. Serat pisang dan komposisinya bisa lebih lanjut menarik jika metode desain pemisahan serat dan komposisinya yang hemat biaya produksi dapat meningkatkan penerapannya ke tingkat yang lebih besar. Dengan demikian disimpulkan bahwa penelitian yang sistematis dan gigih di masa depan akan meningkatkan ruang lingkup dan masa depan yang lebih baik untuk serat pisang dan komposisinya (Venkateshwaran & Elayaperumal, 2010).

Penelitian oleh Motaleb, Ahad, Laureckiene, and Milasius (2021) mengembangkan bahan komposit ramah lingkungan dari

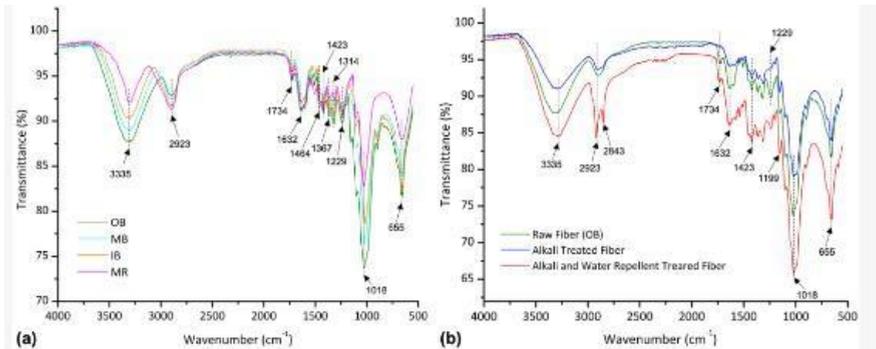
sumber alami yang akan digunakan dalam aplikasi ringan di berbagai bidang, termasuk pengemasan, perabotan rumah tangga, bahan bangunan, tekstil teknis dan banyak lagi, dengan potensi untuk menggantikan bahan komposit sintetis yang merusak lingkungan dan karsinogenik yang ada yang masih banyak digunakan sampai sekarang. Untuk memenuhi tujuan tersebut, dikembangkan empat jenis anyaman serat pisang dari bagian yang berbeda dari pohon pisang: kulit luar, kulit tengah, kulit batang bagian dalam, dan pelepah tengah daun, menggunakan teknik pembentukan jaring basah dengan serat yang diekstraksi. Empat jenis nonwoven yang disiapkan diperkuat pada dua jenis matriks yang berbeda, resin epoksi dan resin poliester, untuk membuat delapan komposit yang berbeda. Perlakuan permukaan diterapkan dalam tiga tahap: (i) pada tahap serat, perlakuan alkali (NaOH) untuk meningkatkan sifat mekanik dan hidrofobisitas; (ii) pada tahap nonwoven, perlakuan anti air untuk meningkatkan hidrofobisitas; dan (iii) pada tahap komposit, perlakuan radiasi gamma untuk meningkatkan sifat mekanik (**Gambar 1.15**).



**Gambar 1. 15** Pohon pisang dan dan tampak samping batang pisang(Motaleb et al., 2021)

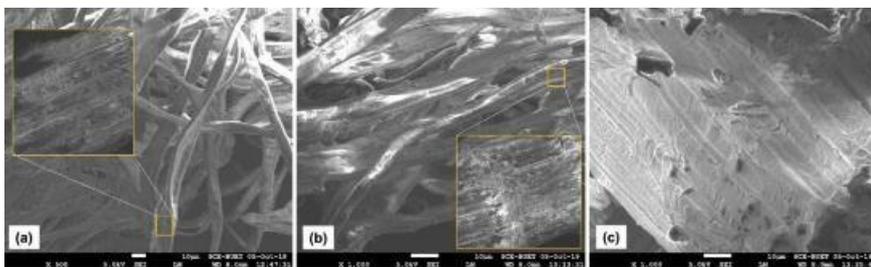
**Gambar 1.16** menyajikan spektroskopi FTIR dari berbagai jenis serat pisang mentah serta perubahan setelah perlakuan alkali dan anti air. Di sebelah kiri, spektroskopi IR serat pisang mentah

(yaitu, OB, MB, IB dan MR) menunjukkan puncak utama yang cukup mirip kecuali beberapa perbedaan intensitas dalam kisaran  $3400\text{ cm}^{-1}$  hingga  $600\text{ cm}^{-1}$ . Untuk memulainya, puncak pada  $3335\text{ cm}^{-1}$  yang sesuai dengan regangan O-H pada gugus asam karboksilat selulosa ditemukan untuk keempat jenis serat. Intensitas yang lebih tinggi untuk OB dan lebih rendah untuk MR pada puncak ini menentukan jumlah potensial tertinggi dan terendah dari kandungan selulosa, masing-masing (Manimaran, Pillai, Vignesh, & Prithviraj, 2020). Selain itu, ikatan hidrogen dan kovalen dikembangkan dengan gugus hidroksil ini melalui ikatan silang intra dan antar molekul, dengan ikatan air pada bilangan gelombang  $3400\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$ . puncak pada  $2923\text{ cm}^{-1}$  sesuai dengan peregangan asimetris  $\text{CH}_2$ , mungkin karena munculnya hemiselulosa (Manimaran et al., 2020). Intensitas pada puncak ini menunjukkan kemungkinan adanya hemiselulosa yang lebih rendah pada OB dan hemiselulosa yang lebih tinggi pada serat pisang MR. Puncak utama lainnya pada  $1632\text{ cm}^{-1}$  adalah karena  $\text{C}=\text{C}$  aromatik pada alkena bidang, yang menunjukkan adanya lignin. Puncak yang teramati pada bilangan gelombang  $1464\text{ cm}^{-1}$  akibat regangan  $\text{-C-H}$  juga mengungkapkan munculnya lignin. Dari intensitasnya, dapat dikatakan bahwa serat OB dan MR mengandung lebih banyak lignin daripada yang lain. Bilangan gelombang  $1420\text{--}1430\text{ cm}^{-1}$  berhubungan dengan jumlah kristalinitas dalam selulosa (Cichosz & Masek, 2020). Di antara empat jenis serat, OB mengandung struktur selulosa yang lebih berorientasi, seperti yang ditunjukkan dengan menganalisis intensitas masing-masing serat. Intensitas tertinggi untuk semua serat pada  $1018\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya regangan ester C-O.



**Gambar 1. 16** Spektroskopi FTIR dari (a) berbagai jenis serat pisang mentah, (b) serat pisang mentah yang diolah dengan alkali, dan anti air(Motaleb et al., 2021).

Sampel juga dianalisis menggunakan SEM dalam tiga tahap sebagai serat mentah, setelah perlakuan alkali, dan setelah perlakuan anti air. Mikrograf dari SEM disajikan pada **Gambar 1.17**. Mikrograf pertama menunjukkan tampilan permukaan mikroskopis dari serat pisang mentah. Selain konstituen utamanya, serat pisang juga mengandung beberapa bahan organik dan kotoran alami seperti minyak, lilin, dan mineral yang biasanya mengisi struktur selulosa berpori. Karena itu, permukaan serat terlihat cukup halus, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1.17a**. Namun demikian, dapat ditemukan juga permukaan yang sedikit lebih kasar, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1.17a**. Mikrograf juga menunjukkan ketidakteraturan dalam orientasi morfologi dari bundel serat, yang menunjukkan adanya daerah amorf pada serat.



**Gambar 1. 17** Mikrograf SEM dari (a) serat pisang mentah, (b) serat pisang yang diberi perlakuan alkali, dan (c) serat pisang nonwoven yang diberi perlakuan anti air (Motaleb et al., 2021).

Tampilan mikroskopis dari permukaan serat yang diberi perlakuan alkali disajikan pada **Gambar 1.17b**. Karena perlakuan NaOH yang kuat, pengotor seperti minyak dan lilin serta sejumlah hemiselulosa, lignin dan senyawa terlarut lainnya dihilangkan, yang menciptakan permukaan serat yang lebih kasar yang terlihat pada mikrograf ini. Pengaruh NaOH lebih jelas pada jendela yang diperbesar pada **Gambar 1.17b**. Namun, permukaan serat kasar ini memberikan keuntungan dari interlocking yang kuat di antara serat. Khusus untuk pembuatan kain bukan tenunan, penahan mekanis yang kuat ini membuatnya lebih kuat, dan untuk pembuatan komposit yang diperkuat serat ini meningkatkan daya rekat serat-matriks.

Bahan kimia anti air juga diaplikasikan pada permukaan tenunan yang terbuat dari serat pisang. Dari mikrograf yang disajikan pada **Gambar 1.17c**, WR menciptakan lapisan tipis pada permukaan serat alih-alih mengisi pori-pori, karena berat molekulnya yang rendah. Saat WR diterapkan pada permukaan bukan tenunan, lapisan tipis ini tidak mengganggu interlocking serat

saat membuat bukan tenunan; namun, itu masih dapat mengganggu adhesi serat-matriks saat membuat komposit.

Berdasarkan hasil yang dicapai, terbukti bahwa komposit bertulang bukan tenunan serat pisang dapat dikembangkan menggunakan perlakuan fisik dan kimia yang berbeda pada tahap pra dan pasca manufaktur. Bahan yang dikembangkan menunjukkan hidrofobisitas yang sangat baik dan sifat mekanik yang sebanding, dan mampu menggantikan bahan non-biodegradable, karsinogenik dan sintetis yang ada di pasaran. Berdasarkan hasil yang dicapai, terbukti bahwa komposit bertulang nonwoven serat pisang dapat dikembangkan menggunakan berbagai perlakuan fisik dan kimia pada tahap pra-dan pasca-manufaktur. Bahan yang dikembangkan menunjukkan hidrofobisitas yang sangat baik dan sifat mekanik yang sebanding, dan mampu menggantikan bahan non-biodegradable, karsinogenik dan sintetis yang ada di pasaran (Motaleb et al., 2021).

#### **1.3.4 Filtrasi**

Permintaan akan produk pertanian yang murah terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi global menyebabkan penggunaan pestisida, herbisida, dan pupuk untuk meningkatkan produktivitas lahan pertanian juga meningkat. Di negara berkembang, di mana peraturan tidak ditegakkan secara ketat, masyarakat miskin di sekitar kegiatan pertanian ini telah menderita pestisida, herbisida, dan kontaminan berbasis pupuk yang masuk ke air mereka persediaan. Aplikasi pengolahan air filtrasi telah memberikan banyak daerah kesempatan dan kemampuan untuk mengolah air minum mereka dan mengurangi

masalah terkait kesehatan yang disebabkan oleh biologis dan kontaminan fisik di sumber air baku mereka.

Saat ini pun banyak alat modern yang dapat digunakan untuk menjernihkan air. Namun dikarenakan harga yang mahal, maka tidak semua masyarakat bisa memakai alat tersebut. Filtrasi (penyaringan) merupakan metode pemisahan fisik yang digunakan untuk memisahkan antara cairan dan padatan. Bakteri dapat dihilangkan secara efektif melalui proses penyaringan, demikian pula dengan warna, keruhan, dan besi.

Menurut (Asmadi & Kasjono, 2011)(Asmadi, Khayan, 2011) proses yang terjadi pada filter adalah :

a. Penyaringan mekanis

Proses ini terjadi pada filter cepat maupun lambat. Media yang digunakan dalam filtrasi adalah pasir yang mempunyai pori-pori yang cukup kecil. Dengan demikian partikel-partikel yang mempunyai ukuran butir lebih besar dari pori-pori media dapat tertahan.

b. Pengendapan

Proses ini hanyadapat terjadi pada filter lambat. Ruang antar butir pasir berfungsi sebagai bak pengendap kecil. Partikel-partikel yang mempunyai ukuran kecil akan mengendap dalam ruang antar butir dan melekat pada butir pasir adsopsi.

c. Biological action

Proses ini hanya dapat terjadi pada filter saringan lambat. Suspensi-suspensi yang terdapat di dalam air mengandung organisme-organisme seperti alga dan plankton yang merupakan bahan makanan bagi jenis-jenis organisme tertentu. Organisme-

organisme tersebut membentuk lapisan di atas media filter yang disebut dengan lapisan lendir filter atau bio film. Dengan adanya lapisan ini makroorganisme yang terdapat dalam air akan tertinggal, sehingga air filtrat tidak mengandung mikroorganisme.

Kemampuan filtrasi ditentukan oleh kecepatan filtrasi, jenis media, atau cara bekerjanya. Kemampuan filtrasi dapat dibedakan sebagai berikut :

a. Saringan pasir cepat (Rapid Sand Filter)

Saringan pasir cepat mempunyai kecepatan 40 kali kecepatan saringan pasir lambat, dapat dicuci dan dapat digunakan koagulan kimia, sehingga efektif untuk pengolahan dengan kekeruhan tinggi. Pada saringan pasir cepat, biasanya digunakan pasir sebagai medium tetapi prosesnya berbeda dengan pasir lambat. Hal ini disebabkan karena digunakan butiran pasir yang lebih besar/ kasar, dengan ukuran efektif butiran berkisar antara 0,4-1,2 mm dan kecepatan filtrasi lebih tinggi biasanya antara 5-15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam (120 – 360 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>).

Kecepatan penyaringan pasir cepat relatif lebih besar, pencuciannya menggunakan back wash atau dialirkan dari bawah ke atas dengan memakan waktu 1 sampai 2 hari. Dalam pengolahan air tanah, saringan pasir cepat digunakan untuk menghilangkan besi dan mangan. Biasanya saringan pasir cepat ditempatkan pada kolam dan beton terbuka.

b. Saringan pasir Lambat

Merupakan saringan gravitasi, yang mempunyai prinsip kerja mengolah air dengan melewatkan air baku secara gravitasi melalui lapisan pasir sebagai media penyaringnya. Pemakaian pasir

sebagai media penyaring karena sifatnya merupakan butiran lepas yang porous, bergradasi dan uniformity. Saringan pasir lambat sesuai namanya hanya mempunyai kemampuan menyaring relatif kecil yaitu 0,1 -0,3 m<sup>3</sup>/jam atau 2 -7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hari karena ukuran butiran pasirnya halus (ukuran efektif kira-kira 0,2 mm dan air bakunya mempunyai kekeruhan dibawah 10 NTU agar saringan dapat berjalan dengan baik)

Saringan pasir lambat didesain dengan penyaringan lambat, namun dapat menyaring zat pengotor hingga diameter yang lebih kecil dibandingkan dengan saringan pasir cepat. Sistem pencuciannya dengan cara scraping lapisan atas, namun memakan waktu hingga 1-2 bulan. Luas permukaan lebih besar dibandingkan dengan penyaringan pasir cepat (Joko, 2010).

Media filter adalah bahan yang digunakan untuk filtrasi dan merupakan bagian dari filtrasi yang menyebabkan efek filtrasi. Media filter terdiri dari material yang mengisi atau tersusun di dalam filter, dimana media filter dipasang di antara aliran masuk (inlet) dan aliran keluar (outlet) (Asmadi & Kasjono, 2011).

Macam-macam media pengolahan dari lahan basah salah satunya sabut kelapa. Serabut kelapa yang digunakan merupakan serabut kelapa tua dimana serabutnya telah kuning kecoklatan, serabut yang telah kering akan lebih mudah digunakan. Serabut kelapa dicuci dengan air bersih untuk menghilangkan kotoran yang menempel. Serabut kelapa kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari dan dilanjutkan di oven dengan suhu 24<sup>o</sup> C.

Pohon kelapa (*Cocos Nucifera* L) merupakan tumbuhan monokotil yang memiliki struktur batang berupa serabut memanjang

dari akar hingga daun, hal inilah yang menyebabkan batang kelapa sangat kuat meskipun tidak memiliki kambium. Sebuah koleksi dari serat vaskular (bintik-bintik merah-coklat pada bagian melintang) tersebar di atas jaringan parenkim dasar kekuningan. Ini paket berisi sistem transportasi air dan nutrisi (pembuluh xilem dan floem) dan serat berdinding tebal (Kusairi S & Ni'mah, 2015). Anatomi batang kelapa menghasilkan sebaran sifat fisis yang tidak homogen baik penampang maupun tinggi.

Di dalam sabut kelapa terdapat beberapa komponen dasar diantaranya (Saleh, Pakpahan, & Angelina, 2009):

#### 1. Selulosa

Selulosa ialah senyawa organik yang tidak larut dalam air dengan formula  $(C_6H_{10}O_5)_n$  yang merupakan kandungan utama dalam serat tumbuhan dan berfungsi sebagai komponen struktur tumbuhan. Selulosa ini tersusun atas molekul glukosa rantai lurus dan panjang. Keberadaannya pada dinding sel tanaman bersama dengan hemiselulosa dan lignin. Oleh karena itu, serat tanaman biasa disebut dengan lignoselulosa. Selulosa terdiri dari 7000-15000 molekul glukosa. Selulosa bersifat tidak larut dalam air, asam, maupun basa pada suhu kamar. Struktur selulosa terdiri dari 60-70% kristalin dan 30-40% amorphous, sehingga tidak mudah dihidrolisis.

#### 2. Hemiselulosa

Hemiselulosa tersusun atas glukosa rantai pendek dan bercabang. Secara biokimiawi, hemiselulosa adalah semua polisakarida yang dapat diekstraksi adalah larutan basa. Monomer penyusun hemiselulosa biasanya adalah rantai D-glukosa,

ditambah dengan berbagai bentuk monosakarida yang terikat pada rantai, baik sebagai cabang atau mata rantai. Hemiselulosa merupakan heteropolymers (matrix polysaccharides) yang berisi 200 monomer gula. Hemiselulosa berada bersama-sama dengan selulosa pada dinding sel, dan keduanya diikat oleh pektin. Strukturnya yang terbesar adalah amorphous dan sebagian kecil berupa kristalin. Hemiselulosa mudah dihidrolisis dengan asam encer, basa, atau enzim. Hemiselulosa mengandung beberapa monomer gula yaitu: xylosa, mannososa, galaktosa, rhamnosa, arabinosa, dan glukosa.

### 3. Lignin

Lignin adalah jaringan polimer fenolik tiga dimensi yang berfungsi merekatkan serat selulosa sehingga menjadi kaku. Komposisi bahan penyusun ini berbeda-beda bergantung pada jenis tanaman. Berbeda dengan selulosa yang terutama terbentuk dari gugus karbohidrat, lignin terbentuk dari gugus aromatik yang saling dihubungkan dengan rantai alifatik, yang terdiri dari 2-3 karbon. Lignin merupakan polimer kompleks dari fenil propana dan mudah didegradasi oleh asam, basa, maupun enzim lignolitik.

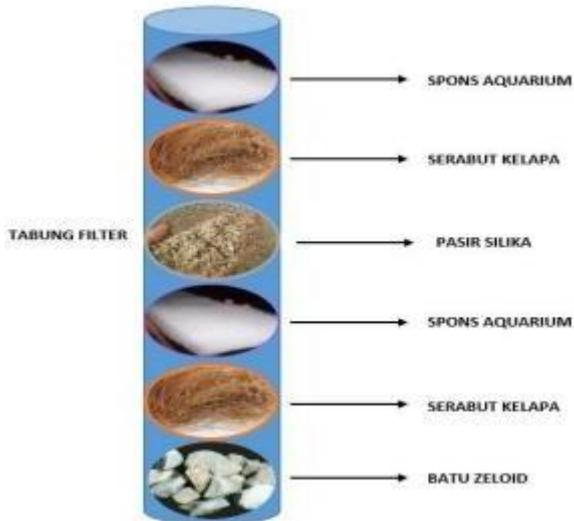
Sabut kelapa merupakan komposisi yang paling banyak dari buah kelapa dibanding bagian buah kelapa lainnya yakni 35 %, sementara tempurung 12 %, daging buah 28 % dan air buah 25 % (Haryanto & Suheryanto, 2004). Satu buah kelapa dapat diperoleh rata-rata 0,4 kg sabut yang mengandung 30 % serat. Sabut kelapa terdiri dari serat dan gabus (Anggoro, 2009). Warna sabut kelapa yang tampak kecoklatan dipengaruhi oleh kandungan senyawa tanin. Selain menghasilkan warna yang hitam kecoklatan, juga

menyebabkan tampilan sabut kelapa yang kasar dan kaku (Oktavia, 2013).

Penelitian sebelumnya telah membuat filtrasi dari sabut kelapa untuk limbah minyak. Serat sabut kelapa dapat digunakan sebagai media filtrasi untuk mengurangi kandungan minyak (lemak) dalam air limbah domestik, walaupun persentase penurunannya baru mencapai angka 65%. Agar persentase penurunannya maksimal maka sebaiknya penelitian dilakukan langsung di tempat atau lokasi yang menghasilkan limbah minyak (lemak) seperti restoran atau rumah makan. Selain itu penelitian harus dibedakan alat dan prosesnya untuk masing-masing perlakuan waktu kontak atau waktu tinggal limbah dalam bak filtrasi (Hajimi, Salbiah, & Susilawati, 2020).

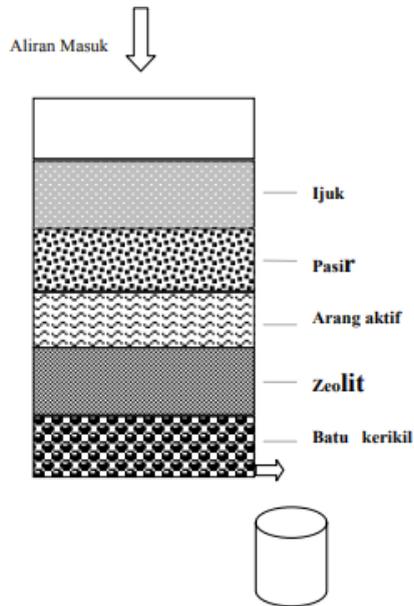
Pembuatan alat filtrasi juga telah dilakukan oleh Hartayu, Putra, and Zainal (2019). Paralon sederhana (tabung) terdiri dari lapisan batu zeolit, filter akuarium, sabut kelapa, lapisan, dan pasir kuarsa (**Gambar 1.18**). Batu Zeolit diletakkan sebagai lapisan pertama di Paralon. Batu zeolit dimaksudkan untuk meningkatkan kadar oksigen, dan menyerap kapur ringan di dalam air serta dapat menyaring besi, tetapi tidak dalam jumlah banyak. Kemudian lapisan kedua filter aquarium dimaksudkan untuk menyaring dan membersihkan air yang keruh (kotor). Proses selanjutnya adalah memasukkan sabut. Sasarannya mesocarp (selimut) berupa sabut kasar. Serat yang biasa disebut limbah, yang menumpuk di bawah pohon kelapa dan tumbuh hingga membusuk atau mengering. Biasanya dimanfaatkan untuk kayu bakar. Sabut kelapa terbagi menjadi cocofiber dan (cococare) sabut kelapa. Lapisan keempat

adalah pasir kuarsa, yang dimaksudkan untuk menghilangkan lumpur bawah air, tanah, partikel kecil dan sedimen. Kemudian masukkan lagi sebagai filter akuarium dan sabut kelapa sebagai isolator pasir kuarsa. Langkah terakhir adalah menutup tabung filter.



**Gambar 1. 18** Filtrasi air menggunakan serabut kelapa (Hartayu et al., 2019).

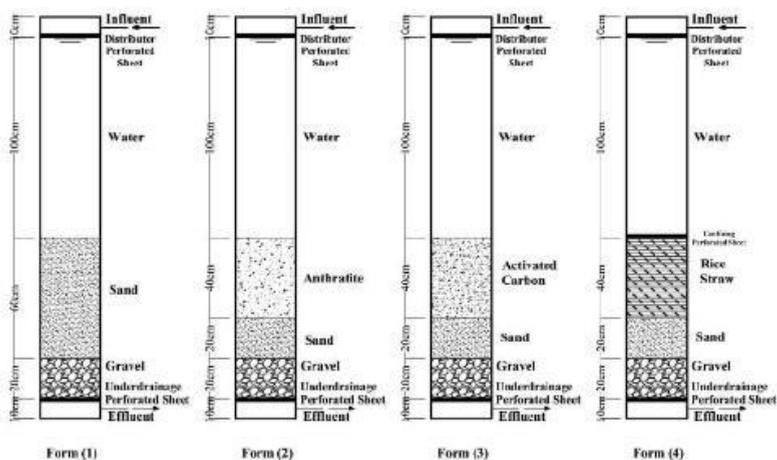
Penelitian oleh Sulistyanti, Antoniker, and Nasrokhah (2018) membuat filtrasi dengan lapisan seperti yang terlihat pada **Gambar 1.19** untuk mengolah limbah. Pembuatan atau rancang bangun alat pengolahan limbah cair ini berskala laboratorium. Alat ini menggunakan ember plastik dengan panjang 20 cm, lebar 20 cm dan tinggi 30 cm. Pada bagian ember box plastik tersebut diberi kran. Bahan penyusun alat ini menggunakan bahan- bahan alam yaitu batu kerikil, pasir, ijuk, arang aktif, dan zeolit.



**Gambar 1. 19** Filtrasi (Sulistiyanti et al., 2018)

Eltawab, Ayoub, El-Morsy, and Afify (2019) melakukan penelitian menggunakan jerami beras. Media pasir yang digunakan pada susunan pertama dengan kedalaman 60 cm. Susunan kedua adalah antrasit dan pasir. Dalam lapisan ketiga terdapat karbon aktif granular dan pasir. Lapisan terakhir terdapat jerami padi dan pasir. Antrasit, karbon aktif granular dan jerami padi digunakan dengan ketinggian konstan 40 cm dan bahan pasir di setiap bentuk dengan tinggi konstan 20 cm selain media pendukung di bawah drainase. Setiap pengaturan memiliki 4 run. Setiap run memiliki laju filtrasi yang berbeda yaitu 125, 150, 175, 200  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{hari}$  dengan total run 16 untuk semua pengaturan. Sampel diambil dari influen dan effluent filter di setiap run dari empat susunan. Untuk setiap sampel

diukur parameter BOD5, COD, TSS, NO3 dan PO4 sesuai dengan Metode Standar Pemeriksaan Air dan Air Limbah [20].



**Gambar 1. 20** Media filtrasi dengan pemanfaatan jerami padi (Eltawab et al., 2019)

Selain itu Hegazy (2008) juga pernah membandingkan antara bahan yang berbeda, yaitu jerami padi, jerami padi dan luffa, fragmen serpih batu bata, dan agregat tanah liat yang diperluas ringan (LECA) sebagai media filter untuk mengolah limbah pemisah minyak-air.

Media filtrasi sabut kelapa dan sekam padi pun telah diteliti sebelumnya oleh (Frankel, 1979). Lapisan pertama terbuat dari serat sabut kelapa yang diparut untuk disaring mengeluarkan sebagian besar padatan tersuspensi dari air; kedua adalah lapisan sekam padi yang dibakar untuk "memoles" pembuangan air sisa kekeruhan dan kontaminan lainnya. Filter dengan demikian menggunakan

bahan lokal yang tersedia secara luas dan cukup murah untuk dibuang setelah digunakan, sehingga menghilangkan pencucian balik. Media digunakan secara seri sehingga penyaringan saja dapat melakukan pekerjaan dalam banyak kasus tanpa menggunakan bahan kimia. Selain itu, dengan sekam padi yang dibakar sebagai media penyaringan, proses mencakup kemampuan penyerapan yang signifikan untuk rasa, bau, dan penghilangan warna.

### **1.3.5. Lahan Basah Buatan**

Lahan basah alami biasanya dapat meningkatkan kualitas aliran air yang melaluinya. Lahan basah alami ini bertindak sebagai filter ekosistem. Sedangkan lahan basah buatan dibuat secara artifisial lahan basah yang digunakan untuk menangani pencemaran air dalam berbagai bentuknya. Oleh karena itu, mereka jatuh ke dalam kategori pengolahan lahan basah. Pengolahan lahan basah adalah ekosistem bertenaga surya. Tenaga surya radiasi bervariasi diurnal, serta secara tahunan (Robert H Kadlec, 1999).

Lahan basah buatan bertujuan untuk menghilangkan bakteri, virus enterik, suspensi padatan, kebutuhan oksigen biokimia, nitrogen (seperti amonia dan nitrat), logam dan fosfor (Pinney, Westerhoff, & Baker, 2000). Dua bentuk umum lahan basah buatan yang digunakan dalam praktik: aliran permukaan (aliran horizontal) dan aliran bawah permukaan (aliran vertikal). Lahan basah buatan aliran permukaan paling mirip dengan lingkungan alam dan biasanya lebih cocok untuk spesies lahan basah karena genangan air yang permanen. Di lahan basah aliran bawah permukaan, air mengalir secara lateral melalui media berpori (biasanya pasir dan

kerikil) dengan jumlah makrofita yang terbatas jenis. Sistem ini sering tidak memiliki genangan air. Lahan basah pengolahan buatan dapat dibangun pada, di atas atau di bawah permukaan tanah yang ada jika: sumber air eksternal disediakan (misalnya air limbah). Grading lahan basah tertentu di kaitannya dengan elevasi yang sesuai adalah penting untuk penggunaan optimal dari area lahan basah dalam hal distribusi air. Jenis tanah dan ketinggian air tanah juga harus dipertimbangkan jika: kekurangan air jangka panjang harus dihindari. Liner dapat mencegah pengeringan yang berlebihan, terutama di mana tanah memiliki permeabilitas tinggi (misalnya pasir dan kerikil) atau di mana ada keterbatasan atau aliran periodik.

Substrat akar juga merupakan pertimbangan penting untuk pertumbuhan yang paling kuat dari makrofit. Lapisan tanah atas yang lempung atau berpasir dengan kedalaman 20-30 cm sangat ideal untuk sebagian besar lahan basah spesies makrofita di lahan basah aliran permukaan. Lahan basah aliran bawah permukaan akan membutuhkan: material yang lebih kasar seperti kerikil dan/atau pasir kasar (Robert H Kadlec & Wallace, 2008).

Penggunaan produk sampingan gas buang-desulfurisasi dari pembangkit listrik tenaga batubara di bahan liner lahan basah diselidiki sebelumnya (Ahn, Mitsch, & Wolfe, 2001). Produk sampingan ini biasanya dikirim ke tempat pembuangan sampah. Ini sekarang diakui sebagai metode pembuangan sampah yang semakin tidak cocok, tidak praktis dan tidak berkelanjutan. Meskipun penelitian ini singkat (dua tahun), tidak ada dampak yang merugikan pada produksi biomassa makrofita dilaporkan. Selain itu, bahan

desulfurisasi gas buang dapat menjadi substrat dan pelapis yang baik untuk meningkatkan retensi fosfor di lahan basah buatan.

Pemahaman tentang transformasi kimia dalam pengolahan lahan basah yang dibangun memiliki baru-baru ini menjadi fokus penelitian utama. Karbon organik terlarut merupakan variabel penting dalam pengolahan air minum karena reaksinya dengan disinfektan (misalnya klorin) untuk membentuk produk samping karsinogenik, seperti trihalometana. Transformasi karbon organik terlarut melalui lahan basah yang dibangun diamati sebelumnya. Kesimpulan berikut dengan implikasi untuk desain lahan basah pengobatan dibuat [80]:

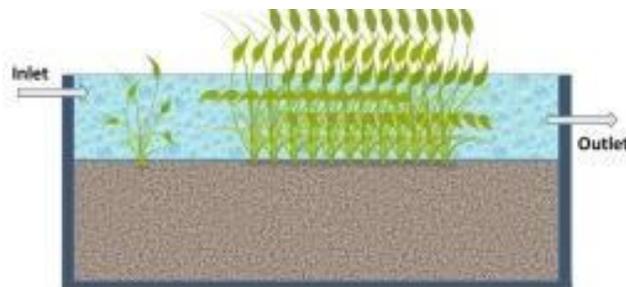
- Karbon organik terlarut tingkat tinggi dapat memasuki pasokan air di mana pengolahan akuifer tanah digunakan untuk pengisian ulang air tanah, karena pengaruh untuk metode ini kemungkinan akan datang dari lahan basah dengan waktu retensi hidrolik yang lama. Akibatnya ada potensi yang lebih besar untuk pembentukan produk sampingan desinfeksi.
- Waktu retensi hidrolik yang lebih pendek akan menghasilkan lebih sedikit pencucian karbon organik terlarut dari bahan tanaman dibandingkan dengan waktu retensi hidrolik yang lebih lama di lahan basah.
- Pencucian karbon organik terlarut kemungkinan besar paling signifikan di lahan basah yang dirancang untuk penghilangan amonia, yang membutuhkan waktu retensi hidrolik yang lama (Pinney et al., 2000).

Subbab selanjutnya akan menjelaskan lebih spesifik tipe lahan basah buatan, media dan vegetasi.

### 1.3.5.1 Tipe lahan basah buatan

#### a. Lahan Basah Buatan Tipe Aliran Permukaan/ *Free water surface constructed wetland*

Lahan basah buatan permukaan air bebas adalah lahan basah alami di mana air limbah mengalir di atas permukaan. Ini membantu untuk pencegahan banjir dan pengendalian erosi garis pantai serta peningkatan kualitas air limbah (Farooqi et al., 2008). Berbagai tanaman dapat digunakan di permukaan air bebas yang dibangun lahan basah sebagai tanaman muncul (Typha, Phragmites, Scirpus), tumbuhan terendam (Potamogeton, Elodea) dan tumbuhan terapung (Eichornia, Lemna) (DBT, 2019). Ini berarti penghapusan efisiensi untuk trace logam (Besi 53%, Tembaga 45%, Seng 52% dan untuk Timbal 52%), BOD dan COD (50%–60%), TSS (70%–80%) dan Nitrogen (50%–65%) (El-Sheikh et al., 2010). Lahan basah yang dibangun di permukaan air bebas ditunjukkan pada **Gambar. 1.21**.



**Gambar 1. 21** Lahan basah buatan tipe aliran permukaan(Parde et al., 2021)

b. Lahan basah buatan aliran horizontal bawah permukaan/  
*Horizontal Flow Constructed Wetland* ((HFCW)

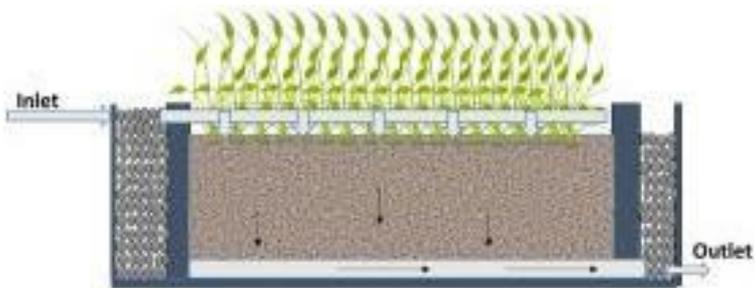
Lahan basah yang dibangun dengan aliran horizontal juga dikenal sebagai sistem *reed bed*. Air limbah mengalir secara horizontal di dasar dari lahan basah yang dibangun. Kebutuhan luas lahan untuk HFCW adalah 5-10 m<sup>2</sup>/PE (PE — Setara Populasi) (DBT,2019). Air limbah mengalami kondisi aerob dan anaerob. Dalam HFCW, kondisi aerobik terjadi di zona akar dan bahan organik terdegradasi oleh kondisi anaerobik (DBT, 2019). HFCW efisien untuk menghilangkan polutan seperti BOD, COD, Amoniak Nitrogen, Fosfat, TSS, dll. (Solano et al., 2004; Steer et al., 2002). HFCW dapat digunakan untuk mengolah berbagai jenis air limbah yaitu limbah industri, limbah pertanian, limbah tambang, dll. HFCW membutuhkan lebih banyak lahan dibandingkan dengan lahan basah yang dibangun aliran vertikal tetapi mengalami de-nitrifikasi yang lebih baik (Saeed et al., 2012; Knight et al., 2000; Calheiros dkk., 2007; Sudarsan dkk., 2018). Lahan basah buatan aliran horizontal ditunjukkan pada **Gambar. 1.22.**



**Gambar 1. 22** Lahan basah buatan tipe aliran permukaan(Parde et al., 2021)

c. Lahan basah buatan aliran vertical/ Vertical Flow Constructed Wetland (VFCW)

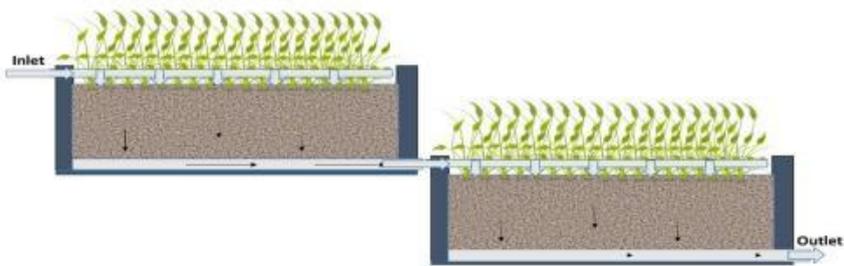
Lahan basah buatan aliran vertikal adalah lahan basah di mana air limbah terendam dari bagian atas lahan basah dan dialirkan keluar dari bagian bawah. Air limbah mengalir secara vertikal melalui dasar (Tilley et al., 2014). Aliran vertikal lahan basah yang dibangun menawarkan kondisi aerobik, oleh karena itu, mencapai nitrifikasi tinggi, BOD, COD dan polutan lainnya penghapusan. Kebutuhan luas lahan untuk lahan basah buatan aliran vertikal adalah 1-3 m<sup>2</sup>/PE yang kurang dari HFCW tapi membutuhkan lebih banyak perawatan daripada HFCW (DBT, 2019). Lahan basah buatan aliran vertikal ditunjukkan pada **Gambar. 1.23**.



**Gambar 1. 23** Lahan basah buatan aliran vertikal (Parde et al., 2021)

*d. French vertical flow constructed wetland*

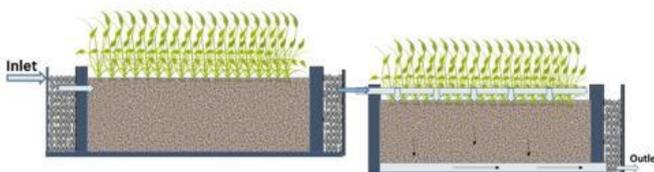
Lahan basah buatan yang berbasis di Prancis adalah lahan basah buatan aliran vertikal dua tahap yang disusun secara paralel dan fungsi secara seri. Ini adalah jenis lahan basah yang dibangun secara vertikal dan memiliki efisiensi pemindahan yang serupa seperti aliran vertikal membangun lahan basah tetapi menghemat biaya konstruksi. Kebutuhan luas lahan untuk lahan basah adalah 2,0–2,5 m<sup>2</sup>/PE (DBT,2019). Lahan basah ini menunjukkan variasi yang dapat diabaikan karena perubahan beban hidrolik dan iklim (Paing et al., 2015). Lahan basah buatan French Vertical ditunjukkan pada **Gambar. 1.24**.



**Gambar 1. 24** *French vertical flow constructed wetland* (Parde et al., 2021)

e. Lahan basah buatan hibrida

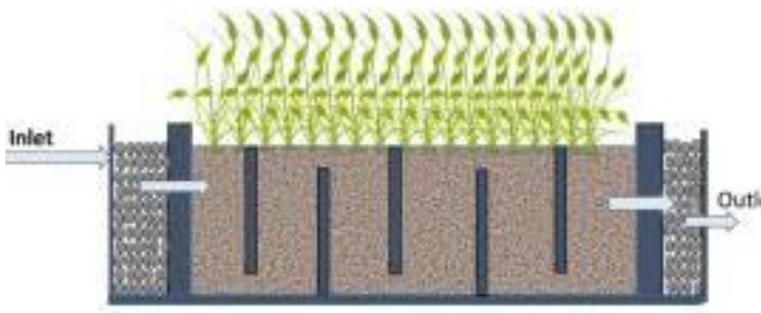
Lahan basah buatan hibrida adalah sistem yang memiliki perawatan bertingkat yang berarti kombinasi dari HFCW dan VFCW (Davis et al., 1995). Efisiensi penyisihan lahan basah buatan hibrida lebih tinggi dibandingkan dengan tipe lainnya dari lahan basah yang dibangun. Berbagai jenis lahan basah yang dibangun memiliki efisiensi penyisihan yang berbeda sesuai dengan aerobik atau kondisi anaerobik sesuai dengan karakteristik air limbah, unit lahan basah hibrida yang dibangun dapat diatur (Saeed et al., 2012; Yazdania dan Golestanib, 2019; Barbera et al., 2009). Lahan basah yang dibangun oleh Hibrida ditunjukkan dalam **Gambar 1.25**.



**Gambar 1. 25** Lahan basah buatan hibrida (Parde et al., 2021)

- f. Lahan basah buatan aliran bawah permukaan bersekat/ *Baffled sub-surface flow constructed wetland*

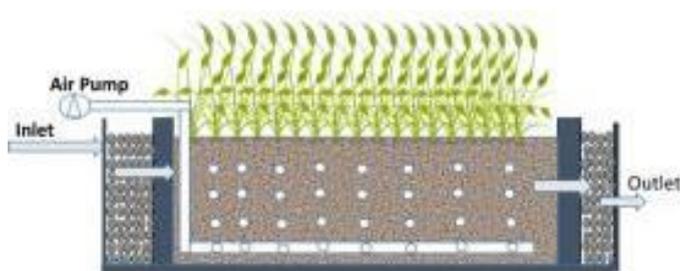
Lahan basah buatan aliran bawah permukaan yang disekat terdiri dari penyekat vertikal di sepanjang lebar lahan basah yang memandu air limbah mengalir ke atas dan ke bawah melalui dasar lahan basah. Sistem ini menyediakan jalur panjang ke air limbah dan lebih banyak waktu kontak antara air limbah dan media. Penghapusan nitrogen dari air limbah adalah penting parameter yang dapat sangat dicapai di lahan basah buatan aliran sub-permukaan yang disekat (DBT, 2019). Yang Bingung lahan basah yang dibangun di bawah permukaan ditunjukkan pada **Gambar. 1.26.**



**Gambar 1. 26** Lahan basah buatan aliran bawah permukaan bersekat (Parde et al., 2021)

- g. Lahan basah buatan dengan aerasi/ *Aerated constructed wetland*

Dalam rangka memenuhi kebutuhan oksigen, lahan basah berkonstruksi aerasi adalah pilihan yang lebih baik. Lahan basah yang dibangun dengan aerasi membutuhkan lebih sedikit energi daripada pengobatan konvensional. Karena ketersediaan oksigen yang rendah, bahan organik saat ini terurai pada tingkat yang lebih rendah. Oleh karena itu, efisiensi lahan basah buatan ditingkatkan dengan menggunakan aerator di lahan basah (Sánchez-Monedero et al., 2008). Lahan basah yang dibangun dengan aerasi ditunjukkan pada **Gambar. 1.27**.

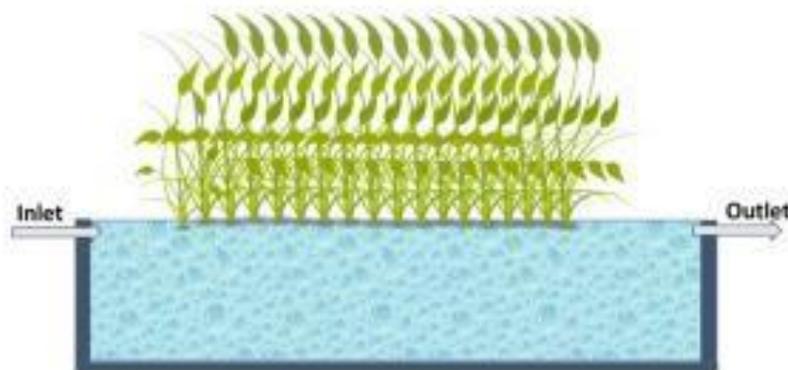


**Gambar 1. 27** Lahan basah buatan aliran bawah permukaan dengan aerasi (Parde et al., 2021)

#### *h. Multi-tropic free flow engineered wetland*

Tumbuhan air terapung tumbuh di dalam air limbah. Tumbuhan terapung yang digunakan di lahan basah adalah *Eichhornia crassipes*, *Lemna sp.* dll. Tumbuhan terapung berguna untuk menghilangkan nitrogen dan fosfat tetapi memiliki penyisihan BOD dan COD yang rendah. Untuk mendapatkan efisiensi yang lebih baik dari lahan basah rekayasa aliran bebas, diperlukan

pemanenan secara teratur. Tumbuhan air terapung menghasilkan biomassa yang lebih tinggi yang dapat digunakan lebih lanjut sebagai bahan bakar, pupuk, suplemen pakan ternak, dll. (Tilak et al., 2016). Lahan basah rekayasa aliran bebas multi-tropis ditunjukkan pada **Gambar.1.28**.



**Gambar 1. 28** *Multi-tropic free flow engineered wetland* (Parde et al., 2021)

#### 1.3.5.2 Media dan vegetasi lahan basah buatan

Tanaman lahan basah sering menjadi pusat pengolahan air limbah. Persyaratan tanaman lahan basah berikut harus dipertimbangkan untuk digunakan dalam sistem tersebut (Tanner, 1996):

- Kemampuan beradaptasi ekologis (tidak ada risiko penyakit atau gulma terhadap ekosistem alami di sekitarnya).
- Toleransi kondisi lokal dalam hal iklim, hama dan penyakit.
- Toleransi terhadap polutan dan kondisi genangan air hipertrofik.
- Perbanyakkan siap, pembentukan cepat, penyebaran dan pertumbuhan.

-Kapasitas penghilangan polutan yang tinggi, melalui asimilasi langsung atau peningkatan tidak langsung dari nitrifikasi, denitrifikasi dan proses mikroba lainnya.

Ketertarikan pada sistem makrofita untuk pengolahan limbah oleh industri air Inggris sudah ada sejak dulu hingga 1985 (Parr, 1990). Makrofita akuatik merupakan jenis tumbuhan makro yang dapat hidup di perairan atau sebagian besar menghabiskan masa siklus hidup di dalam air. Kemampuan spesies makrofita dan kumpulannya dalam sistem untuk sebagian besar efisien mengolah air limbah telah diperiksa sebelumnya (Kuehn & Moore, 1995). Spesies makrofita yang dominan bervariasi dari satu tempat ke tempat lain. Jumlah genus (misalnya *Phragmites* sp., *Typha* sp. dan *Scirpus* sp.) umum untuk semua lokasi beriklim sedang bagus. Peningkatan kualitas air sehubungan dengan parameter utama termasuk permintaan oksigen biokimia, oksigen kimia permintaan, total padatan tersuspensi, nitrat dan fosfat telah dipelajari (Gray & Biddlestone, 1995). Penelitian pun telah dilakukan pada kemampuan penghapusan bakteri enterik dari sistem makrofita (Perkins & Hunter, 2000).

*Phragmites australis* (Cav.) Trin. mantan Steud (alang-alang biasa), sebelumnya dikenal sebagai *P. communis* (Norfolk reed), adalah anggota dari keluarga besar Poaceae (kira-kira 8000 spesies dalam 785 genera). Buluh umum terjadi di seluruh Eropa hingga 70° Utara dan didistribusikan di seluruh dunia. Ini dapat ditemukan di tanah yang diam atau tergenang secara permanen air yang mengalir perlahan. Tumbuhan yang muncul ini biasanya berakar kuat di sedimen basah tetapi mungkin membentuk rakit 'hover reed' yang

berlabuh ringan. Itu cenderung digantikan oleh spesies lain di lebih kering situs. Kepadatan makrofita ini berkurang dengan merumput (misalnya oleh unggas air) dan kemudian dapat digantikan oleh spesies lain yang muncul seperti *Phalaris arundinacea* L. (rumput kenari alang-alang).

*P. australis* adalah tanaman tahunan dengan tunas yang muncul di musim semi. Embun beku yang keras membunuh pucuk-pucuk ini, menggambarkan kecenderungan berkurangnya kekuatan menuju ujung utara jangkauannya. Batang pucuk berongga yang mati di musim dingin penting dalam mengangkut oksigen ke tempat yang relative terletak dalam rhizoma (Brix, 1989).

Reproduksi di tegakan tertutup spesies ini terutama dengan penyebaran vegetatif, meskipun biji perkecambahan memungkinkan kolonisasi habitat terbuka. Tunas yang terpisah sering bertahan dan regenerasi jauh dari stand utama (Preston & Croft, 1997).

Alang-alang umum atau alang-alang Norfolk paling umum ditemukan di tempat yang kaya nutrisi dan tidak ada di sebagian besar zona oligotrofik. Namun, batang spesies ini dapat dilemahkan oleh air yang kaya nitrogen dan selanjutnya lebih rentan terhadap angin dan kerusakan gelombang, yang mengarah ke pengurangan kepadatan spesies ini di Norfolk (Inggris) dan di tempat lain di Eropa (Boar, Crook, & Moss, 1989; Ostendorp, 1989).

*Typha latifolia* L. (cattail, reedmace, bulrush) adalah spesies yang termasuk untuk keluarga kecil Typhaceae. Spesies ini tersebar luas di daerah beriklim utara belahan bumi tetapi meluas ke Afrika Selatan, Madagaskar, Amerika Tengah dan Hindia Barat dan

dinaturalisasi di Australia (Preston & Croft, 1997). Sebuah *Typha latifolia* biasanya ditemukan di perairan dangkal atau pada lumpur terbuka di tepi danau, kolam, kanal dan parit dan lebih jarang di dekat air mengalir cepat. Spesies ini jarang tumbuh pada kedalaman air di bawah 0,3 m, di mana ia sering digantikan oleh *P. australis*. Reedmace adalah tunas penghasil abadi berakar dangkal sepanjang musim tanam, yang kemudian mati di musim gugur. Koloni spesies ini berkembang oleh pertumbuhan rimpang dengan kecepatan 4 m/a, sedangkan bagian rimpang yang terlepas dapat mengapung dan membentuk koloni baru (Hammer, 2020).

Sebaliknya, pertumbuhan koloni dengan biji lebih kecil kemungkinannya. Benih membutuhkan kelembaban, cahaya dan suhu yang relatif tinggi untuk berkecambah, meskipun hal ini dapat terjadi dalam kondisi anaerobik. Dimana intensitas cahaya rendah, perkecambahan dirangsang oleh fluktuasi suhu (Scholz & Lee, 2005).

Dalam teknologi lahan basah buatan, media memainkan peran penting dalam menghilangkan fosfor sulfat, arsenat dan juga menyediakan permukaan untuk aktivitas bakteri. Selain pasir, pecahan batu bata, batu dan agregat beberapa dari media penyerap yang juga dapat diadopsi dalam teknologi lahan basah yang dibangun yang akan meningkatkan penghilangan efisiensi bahan pencemar. Besi valensi nol merupakan media yang dapat digunakan untuk penyerapan arsenat. Itu juga bisa meningkatkan proses sorpsi (Eljamal, Sasaki, & Hirajima, 2013). Besi bervalensi nol dan besi/tembaga bimetal juga membantu untuk menghilangkan fosfor (Eljamal et al., 2020). Serbuk gergaji adalah bahan berbiaya rendah

yang kaya akan sumber karbon yang meningkatkan sulfat biologis pengurangan dari air limbah dan juga membantu untuk aktivitas bakteri. debu marmer digunakan sebagai media dapat mencapai penghapusan fosfor yang lebih tinggi. Kompos sampah juga dapat digunakan sebagai media yang akan menjadi solusi pengelolaan sampah. Kompos sampah mempertahankan sifat basa dalam media yang akan membantu pertumbuhan tanaman. Biochar sebagai media filter juga memiliki kemampuan untuk menghilangkan polutan seperti padatan tersuspensi, nutrisi dan logam berat (K. Reddy, 2014).

Lahan basah dibangun dengan tufa vulkanik sebagai media dan ditanami dengan tebu, *Phragmites* dan Alang-alang variasi efisiensi penyisihan jika dibandingkan dengan media kerikil dan batu kali yang ditanami tebu dan alang-alang. Sebelum pengolahan sedimentasi, kolam fakultatif dan reservoir musiman sudah ada. Hasil menunjukkan bahwa TSS hampir sama untuk semua lahan basah yang dibangun sedangkan serapan Nitrogen menurun dengan meningkatnya beban hidrolik. Penyerapan nitrogen hanya 63,8% pada media tufa vulkanik yang ditanami *Phragmites* sedangkan penyisihan fosfor 41,9% pada media tufa vulkanik tempat tidur kerikil (Avsar, Tarabeah, Kimchie, & Ozturk, 2007).

Dua pengaturan dibuat dengan *stratiotes Pista* di saluran masuk dan keluar unit perawatan. Unit utama ditanam dengan *Typha latifolia*, Lemongrass dan Hybrid Napier Paragrass. Dimensi inlet dan outlet adalah 1 m x 3 m dan satuan utama 4 m x 3 m. Dimensi total adalah 10 m x 3 m. Media yang digunakan adalah kerikil dan pasir. HLR untuk pengaturan pertama adalah 4,45 cm/hari

dan yang kedua 5,77 cm/hari. Hasil penataan ini menunjukkan bahwa lahan basah yang dibangun dengan selat *Pistia*, *Typha latifolia* dan Sereh memiliki persentase penyisihan nitrogen 35,4%. Untuk memaksimalkan penyerapan nutrisi untuk waktu yang lebih lama, pemanenan diperlukan untuk *Pistia stratiotes* (Tilak, Wani, Patil, & Datta, 2016). Klomjek and Nitorisravut (2005) memperkirakan kerja dari delapan spesies lahan basah buatan untuk menghilangkan polutan dan menemukan bahwa *Typha angustifolia* memiliki persentase penghilangan yang lebih baik untuk nitrogen dan Crabgrass Asia untuk BOD.

Dua HFCW yang satu tidak ditanam dan satu lagi ditanami *Phragmites australis* yang memiliki media Ringan Expanded Clay Aggregate (LECA) dengan ukuran 4–8 mm diterapkan dengan laju pemuatan yang lebih rendah dan lebih tinggi. Hasil menunjukkan bahwa LECA adalah cocok digunakan sebagai media pada lahan basah buatan karena memiliki porositas yang lebih tinggi, daya rekat yang cepat yang berguna untuk pembentukan biofilm dan menyediakan luas permukaan untuk pertumbuhan cepat tanaman. Media LECA menunjukkan hasil yang lebih baik untuk yang lebih rendah loading rate yaitu 73,90% COD dan 59,3% NH<sub>4</sub>-N removal (Mesquita, Albuquerque, Amaral, & Nogueira, 2013). Lahan basah buatan dibangun di dimana air limbah yang telah diolah dari tangki Imhoff dialirkan ke HFCW dilanjutkan dengan VFCW kemudian HFCW ditanam dengan alang-alang dan *Phragmites australis*. Dapat disimpulkan bahwa persentase penyisihan setup adalah TSS 97,1%, COD 94,6%, BOD 97,2%, TN 71,2% dan PO<sub>4</sub>-P 82,2% (Ghrabi, Bousselmi, Masi, & Regelsberger, 2011). *Phragmites* Karka

ditanam di kota Ujjain dengan kedalaman kacang tanah 60 cm ukuran tempat tidur kerikil. Luas efektif 900 m<sup>2</sup> (100 m×9 m). Penurunan TSS, TS, TDS, COD, BOD dan TKN sebesar 80%, 78%, 76,48%, 78,64, 69,54% dan 70% (Panwar & Makvana, 2017). *Phragmites* sp. Dan *Typha* sp. Ditanam di lahan basah untuk mengolah air limbah petrokimia yang medianya memiliki kerikil dan lapisan pasir. Hasil menunjukkan bahwa *Typha* sp. lebih efisien dalam mengolah air limbah dibandingkan *Phragmites* sp. tetapi kedua spesies tersebut sangat efektif dalam mengobati air limbah petrokimia di bawah kondisi India. Penghilangan BOD, COD dan kekeruhan *P. australis* dan *Typha* spp masing-masing adalah 85,33%, 89,9%, 66,02% dan 90,41%, 93,83%, 58,97%(Sudarsan, Subramani, Rajan, Shah, & Nithyanantham, 2018).

Limbah septic tank yang telah diolah digunakan pada dua HFCW yang ditanami *Ranunculus Muricatus* dan *Typha latifolia* yang memiliki dimensi 0,37 m×0,37 m×0,37 m. Pengaturan ini menunjukkan kedua spesies memiliki penghilangan polutan yang efektif tetapi *Typha* menunjukkan reduksi yang lebih tinggi dari *Ranunculus*. *Ranunculus* memiliki kinerja yang lebih baik untuk menghilangkan bakteri daripada *Typha* dan bekerja lebih ditingkatkan di musim panas. Persentase penyisihan adalah 76,5% untuk TSS, 74% TDS, 82,55% BOD, 80,95% COD, 60,07% sulfat, 78,56% fosfat dan 55,75% klorida untuk *Ranunculus* dan persentase penyisihan adalah 78% untuk TSS, 59% TDS, 80,95% BOD, 80,95% COD, 66,28% sulfat, 80,58% fosfat dan 54,13% klorida untuk *Typha latifolia* (Aziz, Ali, Asghar, & Ahmed, 2015)(Aziz et al., 2015).

# BAB II

## APLIKASI MATERIAL LAHAN

### BASAH

---

#### **2.1 Pengolahan Air**

Permintaan pasokan air meningkat selama abad terakhir karena gaya hidup, perkembangan industri dan pertumbuhan penduduk juga meningkat pesat. Permintaan yang meningkat ini menghadapi paradoks untuk menghasilkan air olahan dengan kualitas tinggi dengan biaya lebih rendah. Untuk mengurangi biaya air, sangat penting untuk mengoptimalkan biaya operasional di instalasi pengolahan air (listrik, bahan kimia, biaya operator) dan banyak tindakan harus dilakukan dalam hal ini. Salah satunya adalah memanfaatkan material lahan basah untuk pengolahan air dan air limbah.

### **2.1.1. Pengolahan Air Menggunakan Adsorben Berbasis Lahan Basah**

Karbon aktif biasa digunakan untuk tujuan adsorpsi. Pada dasarnya, adsorpsi dibatasi untuk digunakan pada salah satu dari dua fase yaitu, fase gas/uap (biasanya udara) atau dari fase cair (biasanya air). Adsorpsi pada larutan relatif sederhana untuk dilakukan secara eksperimental, karena tidak ada perubahan volume terlibat dan teknik analisis modern dapat dengan mudah disesuaikan dengan mengukur perubahan konsentrasi.

Secara dasar, faktor yang harus diperhatikan dalam adsorpsi adalah

1. Kimia ion logam atau kompleks ion logam yang ada dalam larutan.
2. Konsentrasi zat terlarut dan turunan isoterm.
3. pH larutan yang mengandung spesies ionik dan titik muatan nol (PZC) pada permukaan,  $pH_{pzc}$ , dan titik isoelektrik (IEP)  $pH_{iEp}$ .
- 3 Sumber bahan karbon aktif, luas permukaan dan porositasnya termasuk volume mikroporositas bagian sempit dan luasnya.
- 4 Komposisi permukaan karbon aktif, termasuk heteroatom yang terikat di dalam lapisan graphene serta fungsionalitas oksigen tepi-terikat.
- 5 Komposisi kimia dari fungsi oksigen yang bergantung pada metode pembentukannya, misalnya dari molekul oksigen, karbon dioksida, asam nitrat, asam fosfat, hidrogen peroksida, ozon, hidrogen peroksida dan amonium peroksodisulfat.

4. Ukuran spesies penyerap, yaitu ion terhidrasi, dalam kisaran 1,0-1,8 nm, penting dalam karbon dengan volume mikroporositas sempit yang signifikan.
5. Suhu(Marsh & Rodríguez-Reinoso, 2006b).

Baik *Granular Activated Carbon* (GAC) dan karbon aktif bubuk digunakan dalam aplikasi fase cair, yang pertama digunakan dalam proses berkelanjutan karena mereka mampu regenerasi, sedangkan yang terakhir adalah umumnya digunakan dalam proses batch (setelah selesai, karbon dipisahkan dari cairan) dan dibuang atau dielusii). Hampir 60wt% dari karbon aktif yang digunakan di AS untuk fase cair aplikasi dalam bentuk bubuk. Aplikasi fase cair membutuhkan karbon aktif dengan pori yang lebih besar daripada fase gas, karena kebutuhan untuk difusi cepat cairan ke bagian dalam partikel karbon dan karena ukuran besar banyak molekul terlarut untuk dipertahankan. Biasanya karbon aktif untuk aplikasi fase cair disiapkan dari kayu, gambut, lignit, dll yang melalui aktivasi kimia. Ada dua jenis aplikasi fase cair untuk karbon aktif: Penghilangan bau, warna, atau rasa dari larutan, dan konsentrasi atau pemulihan zat terlarut dari larutan termasuk pemurnian air dan penghilangan warna gula dan pemanis sebagai aplikasi utama(Marsh & Rodríguez-Reinoso, 2006b).

Penerapan AC dalam pengolahan air terutama berpusat pada penghilangan polutan senyawa organik. Senyawa ini dapat diklasifikasikan dalam tiga kategori berbeda:

1. Bahan organik alami (BOA)
2. Senyawa organik sintetik
3. Produk sampingan dari pengolahan air kimia.

BOA terutama terdiri dari residu metabolisme makhluk hidup. Senyawa ini menghasilkan rasa dan bau yang tidak enak, dan juga dapat menjadi sumber infeksi. Di antara senyawa organik sintesis yang terdapat dalam air, minyak, benzena dan toluena, fenol dan klorofenol, triklorometana dan karbon tetraklorida, deterjen, pestisida, pewarna, surfaktan dan sebagainya dapat ditemukan. Akhirnya, trihalomethanes adalah kelompok senyawa yang paling penting yang dapat ditemukan dalam air sebagai produk kimia untuk mendisinfeksi air dengan klorin:  $\text{CHCl}_3$ ,  $\text{CHBrCl}_2$ ,  $\text{CHBr}_2\text{Cl}$  dan  $\text{CHBr}_3$ . Senyawa ini sangat teradsorpsi pada karbon aktif, dan inilah alasan meningkatnya jumlah instalasi air minum menggunakan karbon aktif sebagai langkah pengolahan.

Rejeksi kontaminan air oleh karbon aktif merupakan teknologi utama yang banyak digunakan (55% di Amerika Serikat) untuk aplikasi fase cair. Baik karbon aktif bubuk maupun GAC digunakan dalam pengolahan air. Akan tetapi tipe granular lebih banyak digunakan karena kapabilitas regenerasinya. Ketika bentuk karbon aktif bubuk digunakan, ditambahkan ke air dalam bentuk bubuk secara otomatis. Setelah mencapai waktu kontak yang sesuai, karbon aktif dihilangkan dengan klarifikasi atau penyaringan.

Dosis tingkat karbon aktif dalam kontrol rasa dan bau tergantung pada jenis karbon dan tingkat kotoran dalam air, tetapi secara umum dosis rendah, dan karbon dapat bertahan hingga satu tahun. Akibatnya, regenerasi karbon biasanya tidak ekonomis, dan karbon bekas umumnya dibuang.

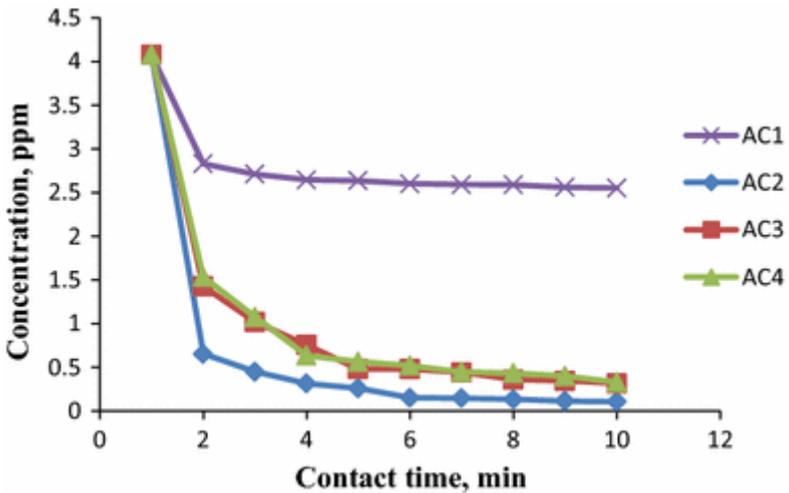
GAC lebih disukai untuk mengolah rasa dan bau, dan biasanya digunakan dalam filter khusus dan kartrid sekali pakai dalam instalasi industri, komersial dan perumahan. GAC digunakan dalam kolom gravitasi, di mana air mengalir terus menerus untuk waktu kontak yang ditentukan. Sistem kontak dapat berupa aliran atas atau aliran bawah, yang pertama menyerap senyawa organik, sedangkan yang terakhir menyaring padatan tersuspensi sebagai tambahan. Pada sistem up-flow, penggantian karbon bekas dilakukan dari bawah kolom, dengan penambahan karbon baru di bagian atas, sementara unit tetap beroperasi. Dalam sistem aliran bawah yang tidak memiliki pra-filtrasi, padatan tersuspensi dapat terakumulasi di bagian atas tempat tidur, membutuhkan pembersihan lapisan secara berkala untuk mengurangi tekanan penurunan yang disebabkan oleh akumulasi padatan. Lapisan jenis ini dioperasikan secara seri atau paralel. Karena karbon akan habis terlebih dahulu di bagian atas lapisan, perlu untuk menghilangkan seluruh lapisan untuk menggantikan karbon. Sistem pengolahan air minum kota terbesar di dunia GAC dipasang di Cincinnati, Ohio pada tahun 1989

dengan kapasitas potensial lebih dari 830 juta liter per hari (Marsh & Rodríguez-Reinoso, 2006b).

Mengenai material lahan basah yang diaplikasikan untuk pengolahan air. Penelitian sebelumnya telah melakukan penelitian untuk preparasi dan karakterisasi karbon aktif yang dibuat dari daun cattail menggunakan *two-stage self-generated atmospheres* di *Muffle Furnace* skala laboratorium. *Two-stage self-generated atmospheres* dilakukan dengan cara Impregnasi prekursor, kemudian semi-karbonisasi diikuti dengan aktivasi pada suhu tertentu dalam atmosfer yang dihasilkan sendiri atau inert untuk jangka waktu tertentu (Joseph & Frankie, 2008). Selanjutnya, untuk mengevaluasi kapasitas adsorpsi karbon aktif yang disiapkan dengan mengadsorpsi logam berat seperti ion Pb(II) di media air (Anisuzzaman, Joseph, Daud, Krishnaiah, & Yee, 2015).

**Gambar 2.1** menampilkan bahwa karbon aktif menghasilkan persentase penyisihan Pb(II) tertinggi dan ditemukan sebesar 97,4%. Laju adsorpsi Pb(II) berlangsung cepat pada tahap awal dan kemudian melambat seiring dengan bertambahnya waktu kontak. Adsorpsi Pb (II) ke karbon aktif terjadi dalam dua tahap: serapan cepat awal karena adanya situs adsorpsi kosong di karbon aktif, penyerapan lambat berikutnya karena difusi Pb(II) ke permukaan bagian dalam cattail karbon aktif dan sisa situs aktif dalam adsorben kurang tersedia untuk ditempati. Pb(II) mengalami adsorpsi cepat oleh karbon aktif selama 5 menit pertama dengan persentase penyisihan 84,0 %, kemudian dilanjutkan dengan proses adsorpsi lambat hingga 45 menit dengan persentase penyisihan Pb(II) hingga 97,4%. Dengan demikian, kapasitas penyerapan eksperimental

pada kesetimbangan  $q_e$  (mg/g) ditentukan menjadi 7,946 mg/g. Konsentrasi  $H_3PO_4$  karbon aktif yang berbeda yang dibuat dari daun cattail dianalisis dalam larutan berair 4 ppm Pb (II) terhadap waktu kontak. Semua karbon aktif yang dibuat menunjukkan tren laju adsorpsi yang sama tanpa pengaruh yang signifikan terhadap waktu kontak dalam 5 menit pertama, dan menunjukkan adsorpsi yang cepat. Kemudian, waktu berikutnya menunjukkan proses adsorpsi yang lambat. Persentase efisiensi penyisihan tertinggi untuk AC1, AC3 dan AC4 ditemukan berturut-turut adalah 37,4, 92,3, dan 91,9%. Persentase efisiensi penyisihan yang lebih rendah dari karbon aktif ini mungkin disebabkan oleh saturasi situs aktif pada permukaan karbon aktif.



**Gambar 2. 1** Pengaruh waktu kontak adsorben daun cattail terhadap konsentrasi Pb (II) (Anisuzzaman et al., 2015).

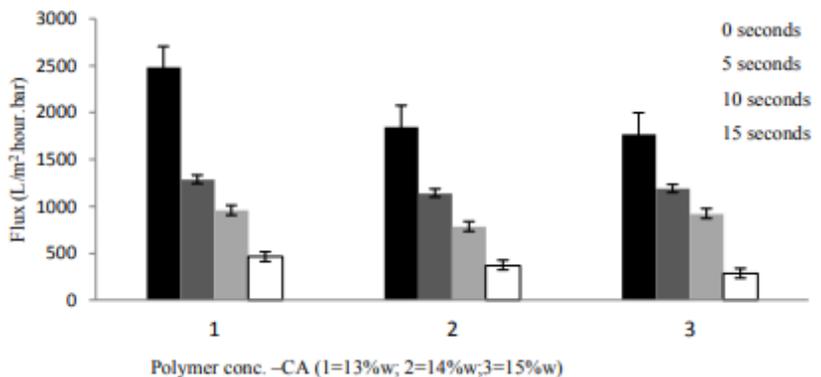
Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa daun cattail yang tidak memiliki nilai ekonomis cocok untuk produksi karbon aktif sebagai adsorben. Ini menghasilkan persentase hasil yang tinggi

dan memberikan kisaran kadar air dan abu yang dapat diterima untuk menghasilkan adsorben yang baik. Proses pencucian memainkan peran penting dalam pengembangan porositas karena beberapa pori-pori mungkin tersumbat oleh molekul  $H_3PO_4$ . Studi morfologi menunjukkan bahwa karbon aktif yang disiapkan memiliki pori burnout yang jelas dengan struktur seperti sarang madu. Spektra FTIR menunjukkan bahwa karbon aktif ditempati oleh beberapa gugus fungsi, seperti C–O, C=O, O–H, C=C. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa AC2 yang dihasilkan dari aktivasi dua tahap dengan konsentrasi impregnasi 2 M  $H_3PO_4$  menghasilkan karbon aktif dengan kinerja terbaik dengan persentase penyisihan Pb(II) tertinggi, 97,4%. Isoterm Langmuir adalah yang terbaik untuk menggambarkan isoterm adsorpsi Pb(II) untuk produksi karbon aktif dengan koefisien korelasi ( $R^2 = 0,9999$ ). Selain itu, data kinetik paling baik dimasukkan ke dalam persamaan laju orde dua semu dengan  $R^2 = 0,9999$ . Kapasitas adsorpsi maksimum ditemukan menjadi 7,95 mg/g (Anisuzzaman et al., 2015).

### **2.1.2. Pengolahan Air Menggunakan Membran Berbasis Lahan Basah**

Pengaruh waktu penguapan pada fluks membran eceng gondok dan rejeksi diselidiki. Larutan asam humat digunakan selama percobaan. Hasilnya disajikan pada **Gambar. 2.2** dan **Tabel 2.1** dapat dilihat bahwa fluks menurun dengan bertambahnya waktu evaporasi, karena semakin lama waktu evaporasi akan menyebabkan ukuran pori membran menjadi lebih kecil karena meningkatnya konsentrasi polimer pada lapisan atas membran. Interaksi pertukaran pelarut dengan udara ambien lebih kecil

daripada interaksi antara pertukaran pelarut dan non pelarut (Mulder & Mulder, 1996; Strathmann, Scheible, & Baker, 1971). Lapisan atas akan menghambat nilai tukar antara pelarut residu dan non pelarut melalui permukaan membrane selama proses perendaman dalam bak koagulasi. Namun, membran dengan ukuran pori yang lebih kecil memiliki yang lebih tinggi penolakan terhadap asam humat. Secara umum, hasil menunjukkan bahwa trade off antara fluks dan penolakan ditemukan dan ini sesuai dengan hasil sebelumnya yang melaporkan preparasi membran menggunakan polimer non selulosa asetat. Membran yang baik harus memiliki fluks dan rejeksi yang tinggi (Gao, Tang, & Wu, 2009; Soroko, Makowski, Spill, & Livingston, 2011). Dalam konteks ini, membran terbaik diperoleh oleh membran dengan waktu evaporasi 10 detik.



**Gambar 2. 2** Fluks membran vs konsentrasi selulosa diasetat dengan variasi waktu penguapan (tekanan 0,5 atm (Marimuthu & Atmakuru, 2015))

Pengaruh konsentrasi selulosa diasetat padat putih pada fluks dan rejeksinya juga diselidiki. Peningkatan konsentrasi polimer

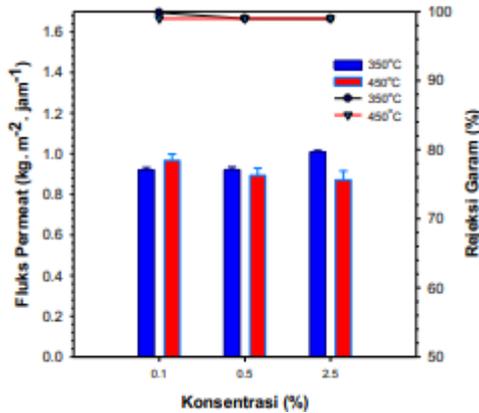
menurunkan fluks di satu sisi dan meningkatkan penolakan di sisi lain. Fenomena ini dapat dijelaskan dengan semakin tinggi konsentrasi selulosa asetat, semakin tinggi jumlah molekul polimer per satuan volume; akibatnya jumlah molekul pelarut yang akan digantikan oleh non pelarut ke dalam pori semakin berkurang (Arthanareeswaran, Thanikaivelan, Srinivasan, Mohan, & Rajendran, 2004). Selain itu, Peningkatan konsentrasi polimer juga memperkuat stabilitas termodinamika larutan yang akan dibentuk menjadi film. Dengan demikian, ukuran pori membran yang dihasilkan dari konsentrasi polimer yang lebih tinggi harus lebih sempit. **Gambar 2.2** menyajikan data pengukuran dengan variasi waktu penguapan dan konsentrasi polimer.

**Tabel 2. 1** Rejeksi berdasarkan variasi konsentrasi polimer dan waktu evaporasi

Polimer Concentration (w/w)	Evaporation Time (seconds)	Rejection (%)	
		NTU	Humic Acid
13	0	44.10	42.31
	5	46.28	45.15
	10	49.81	45.69
	15	50.55	48.59
14	0	55.52	50.70
	5	58.53	51.24
	10	58.81	56.28
	15	59.10	57.38
15	0	60.09	58.95
	5	65.73	63.15
	10	66.62	64.28
	15	68.62	67.50

Sumber: (Marimuthu & Atmakuru, 2015)

Performa membran nipah-silika dengan variasi suhu 350 dan 450°C yang diaplikasikan untuk air rawa asin terlihat pada **Gambar 2.3**. Hasil penelitian menunjukkan nilai fluks air dari membran dengan konsentrasi karbon 0,1; 0,5 dan 2,5% dengan suhu kalsinasi 350°C adalah berturut-turut 0,919; 0,921; dan 1,008 kg.m<sup>-2</sup> jam<sup>-1</sup> (Gambar 4). Sedangkan membran dengan konsentrasi karbon 0,1; 0,5; dan 2,5% dengan suhu kalsinasi 450°C adalah berturut-turut 0,967; 0,893; dan 0,871 kg.m<sup>-2</sup> jam<sup>-1</sup>. Berdasarkan hasil diatas, water flux tertinggi didapat pada konsentrasi nipah 2,5% pada suhu 350°C yaitu 1,008 kg.m<sup>-2</sup> jam<sup>-1</sup> dan konsentrasi nipah 0,1% pada suhu 450°C yaitu 0,967 kg.m<sup>-2</sup> jam<sup>-1</sup>. Hasil persentase salt rejection pada proses pervaporasi air rawa asin dengan suhu umpan 25°C dan menggunakan membran dengan konsentrasi karbon 0,1; 0,5 dan 2,5% suhu kalsinasi 350°C berturut-turut adalah 99,8%; 98,9%; dan 98,9%. Sedangkan untuk suhu kalsinasi 450°C adalah 98,9%; 98,9%; dan 98,9%. Hasil tersebut menandakan semua membran nipah-silika yang disisipkan karbon nipah dengan variasi konsentrasi 0,1-2,5% dan dikalsinasi pada suhu 350-450°C memiliki nilai rejeksi yang tinggi mendekati 100%. Hasil ini juga sejalan dengan beberapa penelitian sebelumnya, bahwa membran berbasis silika memiliki kemampuan yang bagus untuk merejeksi garam hingga >99% (Muthia Elma et al., 2020).



**Gambar 2. 3** Fluks membran silika-nipah (Rezki et al., 2020)

Perbedaan performa membran terlihat berbeda pada kedua suhu kalsinasi. Suhu yang tinggi dapat mempercepat reaksi kondensasi dari grup silanol dan mengurangi permeat, sehingga pada suhu yang lebih tinggi menyebabkan nilai fluks lebih rendah. Rendahnya silanol dan pembentukan siloksan yang terlalu tinggi dapat membuat membran lebih kuat, tetapi dapat menyebabkan pori menjadi jauh lebih besar dan berdampak pada rejeksi yang lebih rendah sehingga mengakibatkan kalsinasi dengan suhu rendah akan berpengaruh lebih signifikan bila ditambahkan dengan konsentrasi karbon pektin yang lebih tinggi (Rampun et al., 2019). Konsentrasi permeat garam yang didapat dari umpan air rawa asin untuk konsentrasi karbon nipah 0,1, 0,5 dan 2,5% dari kalsinasi 350°C adalah berturut-turut 27, 35 dan 43 ppm. Kandungan garam pada permeat yang dihasilkan tidak berbeda signifikan, hal ini sesuai dengan nilai rejeksi garam >98% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Sedangkan konsentrasi permeat garam untuk konsentrasi karbon nipah 0,1, 0,5 dan 2,5% dari kalsinasi 450°C adalah berturut-turut 34, 32 dan 29 ppm. Nilai konsentrasi tersebut

jauh dari 600 ppm (total garam terlarut) yang merupakan total konsentrasi garam yang ditoleransi oleh World Health Organization (WHO) (M. Elma, Yacou, Diniz da Costa, & Wang, 2013) untuk air minum. Sehingga terbukti bahwa membran niphasilika ini dapat digunakan untuk mengolah air rawa asin pada kondisi suhu ruangan dengan kinerja yang baik. Nilai fluks membran nipah-silika pada penelitian ini relatif rendah dibandingkan penelitian yang telah dipublikasikan sebelumnya. Namun nilai rejeksi garam yang dihasilkan cukup dapat bersaing dengan jenis membran lain yakni >99%(Muthia Elma, Hairullah, & Assyaifi, 2018).

### **2.1.3. Pengolahan Air Menggunakan Filtrasi Berbasis Lahan Basah**

Dalam sistem filtrasi, media filter yang paling umum digunakan adalah pasir, namun media seperti: antrasit, magnetit yang dihancurkan, garnet, sabut kelapa dan sintesis alami dan inert lainnya bahan juga digunakan. Jenis sedang, ukuran, porositas, ukuran pori dan luas permukaan yang tersedia media adalah faktor yang menentukan efektivitas proses selektivitas filtrasi.

Media filtrasi sabut kelapa dan sekam padi yang telah diteliti sebelumnya oleh(Frankel, 1979) didesain untuk 800 orang populasi. Dilakukan di sejumlah instalasi lapangan dari 1974 sampai 1977. Data yang terkumpul, menggunakan kekeruhan, besi, dan coliform sebagai parameter utama, menunjukkan bahwa jenis filter dua tahap, sementara tidak mencapai hasil yang sama dengan lambat penyaringan pasir, tidak mencapai penghilangan partikulat untuk menghasilkan pertemuan efluen yang direkomendasikan Standar

Air Minum WHO. Perbedaan yang signifikan antara kedua pendekatan adalah kenyataan bahwa proses dua tahap dapat menangani perairan dengan kekeruhan tinggi (biasanya untuk Asia Tenggara), sedangkan saringan pasir lambat terbatas pada kekeruhan air baku yang relatif rendah. Juga, dua tahap proses beroperasi pada tingkat filtrasi 10 hingga 15 kali lebih tinggi daripada filter pasir lambat, dan menggabungkan penyerapan yang signifikan kemampuan untuk menghilangkan rasa dan warna. Selain itu, dengan menggunakan tahap tambahan, tingkat penghapusan yang lebih tinggi dapat dicapai jika diinginkan. Kekeruhan limbah umumnya di bawah 5 JTU (Jackson Turbidity Units) dari kekeruhan air baku yang berkisar antara 15 sampai 150 JTU. Penghilangan coliform rata-rata 60 hingga 85 persen dengan sampel individu mulai dari penghilangan nol hingga 100 persen, tetapi penghilangan bakteriologis tidak cukup untuk mencapai standar "minum" tanpa penambahan beberapa desinfeksi sederhana. Penghilangan besi bervariasi dari 80 hingga 95 persen. Media filter diganti hanya sekali setiap tiga sampai lima bulan di berbagai instalasi desa.

Diyakini kualitas limbah dari dua tahap proses mewakili kualitas yang cukup baik untuk sebagian besar desa di mana investasi dalam pengolahan air yang lebih mahal (penyaringan pasir cepat atau penyaringan pasir lambat) secara sederhana tidak dapat diberikan. Filter dua tahap juga berfungsi sebagai investasi tahap pertama yang sederhana dalam pengembangan proses multi-tahap untuk meningkatkan pelayanan air minum/sanitasi di daerah pedesaan.

Aplikasi filtrasi telah dilaksanakan di Flores Nusa Tenggara Timur (NTT). Masalah yang bisa terjadi bagi pemukiman pesisir pantai adalah meningkatnya kadar garam yang menyebabkan terganggunya kualitas air sumur. Padatnya jumlah penduduk dan tidak terkelolanya sampah lingkungan sekitar dengan baik juga mempengaruhi kualitas air sumur. Air sumur mengeluarkan bau tidak sedap, seperti yang dialami oleh warga RT 01/RW 02 Pu'uzeze, Kelurahan Rukun Lima. Wilayah ini terletak di daerah pesisir pantai yang terletak kurang lebih 2 km dari pusat kota kabupaten Ende Flores NTT. RT ini termasuk daerah perkotaan yang memiliki jumlah penduduk padat. Sebagian besar warga RT Pu'uzeze masih menggunakan air sumur untuk minum, masak, mandi, dan mencuci. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, salah satu alternatif solusi sehingga air sumur pada RT 01/RW 02 dapat memenuhi syarat secara fisik, kimia dan bakteriologi adalah dengan penjernihan air sumur menggunakan metode filtrasi. Metode filtrasi adalah proses penyaringan air untuk menghilangkan zat padat tersuspensi dari air melalui media berpori. Dari kegiatan pengabdian ini melalui penjernihan air sumur menggunakan metode filtrasi diperoleh hasil air sumur pada RT 01/RW 02 dapat memenuhi syarat secara fisik, kimia dan bakteriologi(Ilyas, Tan, & Kaleka, 2021).

Tim menggunakan serabut ijuk yang berfungsi sebagai penyaring. Semakin tebal atau semakin banyak bahan yang digunakan, maka air kotor yang disaring akan lebih bersih dari sebelumnya. Hal ini disebabkan karena kotoran yang terdapat dalam air telah tersaring pada bahan-bahan yang digunakan dan

karena ketebalan bahannya, sehingga penyaringan air dapat menjadi lebih maksimal. Pasir dapat menjernihkan air secara optimal. Semakin tebal pasir yang digunakan semakin jernih air yang dikeluarkan. Hal tersebut dikarenakan dalam pembuatan alat saring ini ketebalan tertinggi terdapat pada pasir. Sampel air yang digunakan adalah air sumur warga yang telah terintrusi dengan air laut dan telah tercemar limbah. Warna air menjadi keruh sehingga tidak memungkinkan untuk langsung digunakan. Dari hasil percobaan penggunaan alat, diambil sampel air yang memiliki warna agak keruh, lalu melalui mesin air sumur bor, air dimasukkan ke dalam penyaring air. Setelah melalui tahap penyaringan, dihasilkan air yang jernih serta tidak berbau. Air yang semula warnanya keruh berubah menjadi lebih bening. Bahan-bahan yang digunakan, yaitu batu kerikil (zeolit), karbon aktif, dan sabuk ijuk terbukti mampu berfungsi sebagai penyaring (Ilyas et al., 2021)..

## **2.2 Pengolahan Air Limbah**

### **2.2.1 Pengolahan Air Limbah Menggunakan Karbon Aktif Berbasis Lahan Basah**

Penelitian oleh (Xu et al., 2022) telah melaporkan pembuatan adsorben untuk merejeksi fosfor menggunakan material lahan basah seperti canna (C), palem payung (U), buluh bambu (B), dan *Thalia dealbata* (T). Dua belas jenis biochar (C300, C500, C700, U300, U500, U700, B300, B500, B700, T300, T500, dan T700) diperoleh pada tiga suhu pirolisis (300 °C, 500 °C, dan 700 °C) .

Hasil penelitian menunjukkan bahwa canna (C) dan palem payung (U) lebih cocok sebagai bahan baku penghilangan fosfor menggunakan biochar. Jika buluh bambu (B) dan *Thalia dealbata* (T) digunakan sebagai bahan baku penghilangan fosfor menggunakan biochar, risiko pelepasan fosfor lebih besar. Dengan meningkatnya suhu pirolisis ( $700\text{ }^{\circ}\text{C} > 500\text{ }^{\circ}\text{C} > 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), ada kecenderungan peningkatan efek adsorpsi fosfor. Kapasitas adsorpsi maksimum teoritis C700, U700, dan C500 adalah 39,24, 7,08, dan 7,26mgP·g<sup>-1</sup> pada konsentrasi awal fosfor 50mg·L<sup>-1</sup>. Kapasitas adsorpsi teoritis C700 ( $Q_{\text{max}} = 39,24\text{mgP}\cdot\text{g}^{-1}$ ) jauh lebih tinggi daripada bahan adsorpsi yang dimodifikasi secara umum. Ini juga memiliki kisaran toleransi yang lebih besar terhadap pH (3-11). Hasil fitting model kinetik menunjukkan bahwa mekanisme adsorpsi C700, U700, dan C500 pada fosfor dapat lebih baik disimulasikan dengan difusi intra-partikel dan model Elovich, dan mekanisme adsorpsi meliputi adsorpsi permukaan dan difusi intra-partikel. Fitting model adsorpsi isothermal menunjukkan bahwa persamaan Langmuir–Freundlich lebih sesuai untuk deskripsi karakteristik adsorpsi C700, U700, dan C500, dan koefisien fitting  $R^2$  berturut-turut adalah 0,9928, 0,9949, dan 0,9897. Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi fosfor pada C700, U700, dan C500 memiliki keseimbangan permukaan yang seragam dan tidak seragam, serta dapat terjadi adsorpsi monolayer dan multilayer. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa biochar yang diperoleh dari canna pada  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$  memiliki potensi adsorpsi dan penyisihan fosfor yang baik tanpa modifikasi, dan dapat digunakan sebagai biochar yang disukai untuk penghilangan fosfor konsentrasi tinggi

dengan perubahan pH yang besar. Dalam percobaan validasi akhir, tingkat penyisihan fosfor C700 mencapai 77,4% pada pengolahan air limbah yang mengandung fosfor sebenarnya.

Dari penelitian tersebut, ditemukan bahwa kapasitas adsorpsi dan desorpsi biochar yang dihasilkan oleh biochar berbasis tanaman lahan basah yang berbeda dan diproduksi oleh tanaman yang sama pada suhu pirolisis yang berbeda berbeda secara signifikan. Ditinjau dari jenis tanaman, kapasitas adsorpsi dan desorpsi keempat biochar berbasis tanaman lahan basah, canna (C), palem payung (U), buluh bambu (B), dan *Thalia dealbata* (T) menunjukkan perbedaan yang nyata. Buluh bambu dan *Thalia dealbata* tidak memiliki kemampuan untuk menyerap fosfor, menunjukkan bahwa jika biochar B dan T yang tidak dimodifikasi langsung digunakan untuk menghilangkan fosfor, akan ada risiko melebihi standar fosfor karena desorpsi fosfor. C dan U lebih cocok sebagai bahan baku biochar menggunakan adsorpsi fosfor. Dalam hal suhu pirolisis, mengambil C, U sebagai contoh, ini menunjukkan bahwa dengan peningkatan suhu pirolisis ( $700\text{ }^{\circ}\text{C} > 500\text{ }^{\circ}\text{C} > 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), tren peningkatan efek adsorpsi fosfor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biochar yang diperoleh pada kondisi  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$  lebih kondusif untuk adsorpsi fosfor. Ketika suhu pirolisis canna adalah  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ , biochar C700 memiliki kapasitas penyisihan fosfor terbaik, dan kapasitas adsorpsi teoritis maksimum hingga  $39,24\text{mgP}\cdot\text{g}^{-1}$ , yang lebih tinggi dari kapasitas adsorpsi teoritis maksimum dari banyak modifikasi biochar. Selain itu, tingkat penyisihan fosfor C700 mencapai 77,4% melalui eksperimen validasi pada pengolahan air limbah yang mengandung fosfor

sebenarnya. Oleh karena itu, dapat digunakan sebagai adsorben alternatif dengan potensi adsorpsi yang lebih besar (Xu et al., 2022).

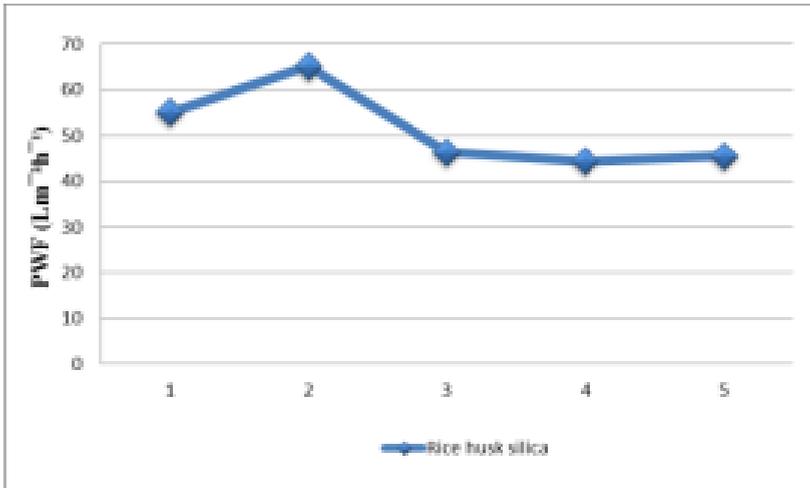
## **2.2.2. Pengolahan Air Limbah Menggunakan Membran**

### **Berbasis Lahan Basah**

Batang eceng gondok memiliki kandungan selulosa yang berpotensi sebagai bahan utama dalam pembuatan membran selulosa. Penelitian yang dilakukan oleh Nafi'ah and Fahmi (2021) untuk mengetahui pengaruh variasi waktu dan variasi konsentrasi terhadap kapasitas adsorpsi membran selulosa batang eceng gondok termodifikasi Na<sub>2</sub>-EDTA pada logam Cr (VI). Selulosa dihasilkan dari proses ekstraksi sokletasi, tahap pemutihan dan hidrolisis. Selulosa murni dimodifikasi dengan Na<sub>2</sub>-EDTA menggunakan katalisator H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Hasil analisis penetapan kapasitas adsorpsi dengan variasi waktu kontak 25 menit memiliki nilai 0,84 mg/g, waktu kontak 35 menit dengan nilai 0,78 mg/g dan waktu kontak 45 menit dengan nilai 0,75 mg/g. Kapasitas adsorpsi dengan variasi konsentrasi 15 ppm memiliki nilai 0,5275 mg/g, konsentrasi 30 ppm dengan nilai 1,2304 mg/g dan variasi 45 ppm dengan nilai 1,9925 mg/g. Kapasitas adsorpsi membran selulosa batang eceng gondok terhadap logam Cr (VI) yang optimal berada pada waktu kontak 25 menit dengan konsentrasi logam Cr (VI) 45 ppm.

Penelitian oleh Harun, Shohur, Yunos, Jamalludin, and Ismail (2013) menginvestigasi efek aditif silika sekam padi dan Polyethylene glycol (PEG) pada konsentrasi yang berbeda pada membran ultrafiltrasi (UF) Polisulfon (Psf). Pengaruh silika sekam padi sebagai aditif pada kinerja PWF diilustrasikan pada **Gambar 2.4** Dari gambar, fluks meningkat ketika kandungan sekam padi

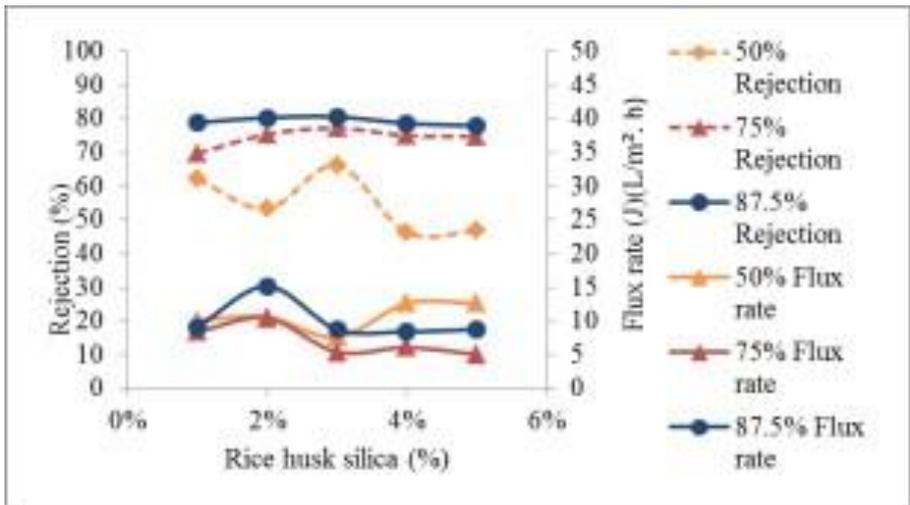
meningkat hingga 2%. PWF 1% adalah  $54,99 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$  dan 2% adalah  $65,09 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ , hal ini mungkin karena silika sekam padi 2% lebih banyak hidrofilitas dibandingkan dengan persentase lainnya. Hal serupa juga dilakukan oleh (Harun et al., 2013) itu hasil juga menunjukkan bahwa 2% adalah yang optimal untuk permeabilitas air. Silika sekam padi partikel permukaan membran mengurangi interaksi antara kontaminan dan permukaan membran. Peningkatan hidrofilitas membran dengan 2% silika sekam padi telah berhasil menarik molekul air di dalam membran komposit, memfasilitasi penetrasi mereka melalui membran, meningkatkan fluks. Selanjutnya, dengan tambahan PEG di formulasi membran Polisulfon dengan silika sekam padi sebagai aditif juga membantu meningkatkan fluks air murni membran. Namun demikian, konsentrasi silika sekam padi yang lebih tinggi akan segera menurunkan fluks. Sebagai akibatnya, itu menurunkan hidrofilitas membran itu ditunjukkan ketika laju fluks tiba-tiba tetes pada 3% silika sekam padi. Laju fluks turun lagi pada 4% dan kemudian sedikit meningkat pada beras 5% silika sekam. Dengan demikian, berdasarkan situasi ini, laju fluks optimum dapat dipertimbangkan pada membran yang mengandung 2% silika sekam padi.



**Gambar 2. 4** Fluks silika sekam padi (Harun et al., 2013)

**Gambar 2.5** mengilustrasikan efek grafis dari konsentrasi air limbah dalam persen penolakan dan laju fluks untuk penyaringan air limbah. Berdasarkan plot, silika sekam padi 3% menunjukkan penolakan zat terlarut tertinggi untuk semua pengenceran air limbah dibandingkan dengan 1%, 2%, 4% dan 5% kandungan silika sekam padi. Perilaku ini mungkin karena campuran silika sekam padi yang optimal menghasilkan sifat hidrofilik yang baik. Tingginya hasil hidrofilitas pun akan mengurangi interaksi antara kontaminan hidrofobik dan permukaan membran, secara efektif meningkatkan sifat penolakan (Y. Yang, Zhang, Wang, Zheng, & Li, 2007). Hal ini jelas ditunjukkan oleh sifat penolakan silika sekam padi ketika ditambahkan ke membran ultrafiltrasi PSf. Namun demikian, penolakan fluks memberikan nilai terendah pada 3%. Ini mungkin karena efek kristalinitas silika sekam padi yang memiliki kompatibilitas rendah bila dicampur dengan polimer. Oleh karena

itu, partikel sekam bisa menjadi cacat kecil dan ini pasti akan mempengaruhi nilai penolakan. Itu sebabnya dengan lebih banyak penambahan sekam padi akan menyebabkan rendahnya nilai rejeksi.

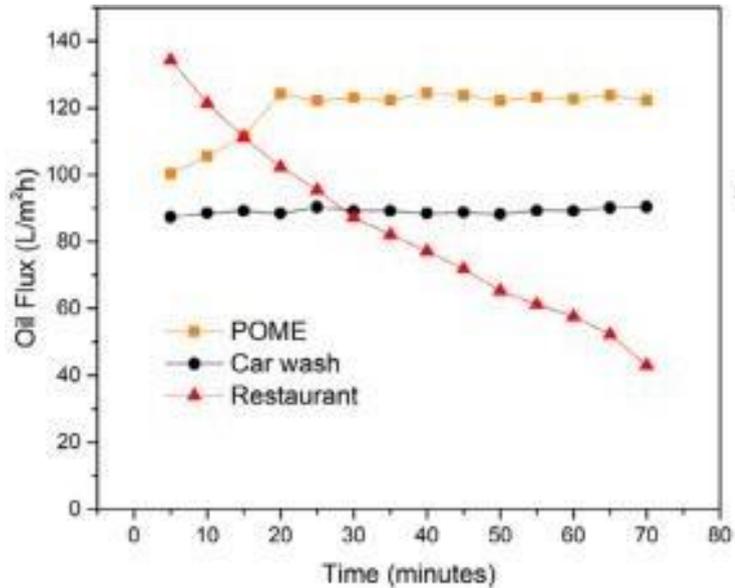


**Gambar 2. 5** Pengaruh konsentrasi air limbah terhadap fluk dan rejeksi membran silika sekam padi(Harun et al., 2013)

Insiden tumpahan minyak yang sering terjadi dewasa ini telah menimbulkan perhatian besar di seluruh dunia. Superhydrophobic dan superoleophilic dicangkokkan pada berbagai substrat telah menarik banyak perhatian memperlakukan campuran minyak dan air karena kinerja uniknya yang dapat memisahkan minyak dan campuran air. Pada saat yang sama, membran keramik juga menunjukkan potensi substrat untuk digunakan dalam mengolah campuran minyak dan air. Namun, membran keramik konvensional yang terbuat dari alumina menunjukkan kelemahan dalam hal biaya produksi yang tinggi. Di sini, penelitian Jamalludin,

Hubadillah, Harun, Othman, and Yunos (2019) melaporkan membran keramik baru yang diturunkan dari limbah ampas tebu pertanian-tebu dan dimodifikasi menjadi superhydrophobic dan superoleophilic untuk bertindak sebagai penyerap dan pemisah minyak hibrida.

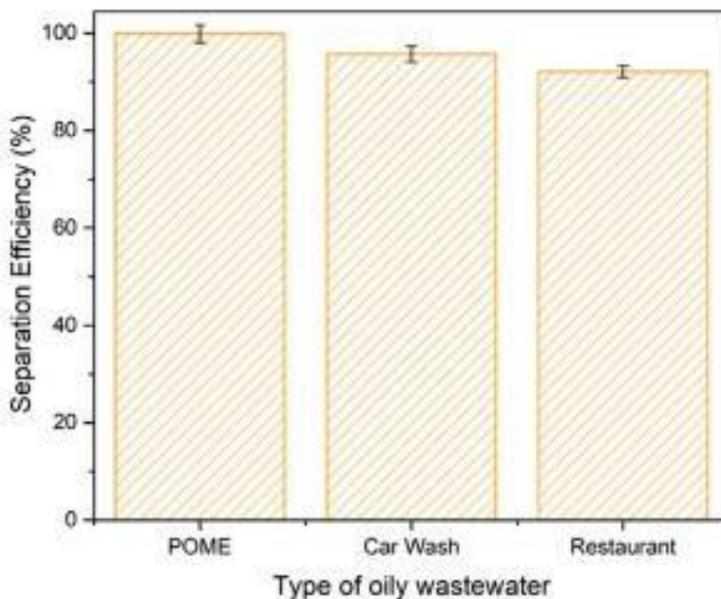
Dalam hal menyelidiki kinerja membran ampas tebu terhadap air limbah berminyak, studi lebih lanjut telah dilakukan menggunakan air limbah berminyak dari limbah pabrik kelapa sawit (POME), cuci mobil dan restoran. **Gambar 2.6** menunjukkan fluks oli POME, cuci mobil dan restoran untuk membran ampas tebu pada 70 menit. Menariknya, POME menunjukkan tren peningkatan pada awal proses pemisahan. Pada  $t = 5$  menit, fluks minyak POME adalah 100,3 L/m<sup>2</sup>h. Pada interval. 5 menit, fluks oli meningkat menjadi 124,2 L/m<sup>2</sup>.h dan stabil di waktu = 20 menit. Fenomena ini dapat dikaitkan dengan emulsi minyak mekanisme POME. Harus disebutkan bahwa pada  $t = 0-20$  menit, diamati bahwa sebagian besar minyak tersuspensi di air POME.



**Gambar 2. 6** Fluks membran ampas tebu terhadap air limbah berminyak (Jamalludin et al., 2019)

**Gambar 2.7** menyajikan efisiensi pemisahan minyak yang dipisahkan dari air limbah berminyak melalui membran ampas sagu. Seperti yang bisa dilihat, POME menunjukkan efisiensi pemisahan terbesar 99,9%, diikuti oleh mobil cuci (95,7%) dan restoran (92,1%). Sebagian besar literatur melaporkan bahwa ketika fluks lebih tinggi, efisiensi pemisahan (penolakan) adalah sebaliknya [9-11]. Karena itu, penelitian ini menunjukkan manfaat modifikasi permukaan melalui metode solgel dengan MTES dengan membangun kekasaran hierarki dan struktur nano dari permukaan superhidrofobik. Sementara itu, TEOS meningkatkan superoleophilicity permukaan membran ampas sagu. Hebatnya,

minyak dipisahkan dalam penelitian ini dari POME, cuci mobil dan restoran dapat diselidiki lebih lanjut menuju aplikasi ramah lingkungan untuk bahan bakar. Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya memecahkan masalah tumpahan minyak tetapi membuka peluang yang menjanjikan untuk penggunaan bahan bakar limbah sebagai bahan baku produksinya dengan memulihkan minyak dari campuran minyak-air (Jamalludin et al., 2019).



**Gambar 2. 7** Efisiensi pemisahan membran ampas tebu terhadap limbah berminyak (Jamalludin et al., 2019)

### **2.2.3 Pengolahan Air Limbah Menggunakan Filtrasi Berbasis Lahan Basah**

Walaupun Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dianggap sebagai gulma di perairan, sebenarnya ia berperan dalam menangkap polutan logam berat. Rangkaian penelitian seputar

kemampuan eceng gondok oleh peneliti Indonesia antara lain oleh Widyanto dan Susilo (1977). yang melaporkan dalam waktu 24 jam eceng gondok mampu menyerap logam kadmium (Cd), merkuri (Hg), dan nikel (Ni), masing- masing sebesar 1,35 mg/g, 1,77 mg/g, dan 1,16 mg/g bila logam itu tak bercampur. Eceng gondok juga menyerap Cd 1,23 mg/g, Hg 1,88 mg/g dan Ni 0,35 mg/g berat kering apabila logam-logam itu berada dalam keadaan tercampur dengan logam lain. Penelitian lain menyimpulkan logam chrom (Cr) dapat diserap oleh eceng gondok secara maksimal pada pH = 7 (Rahmawati, 2020). Dalam penelitiannya, logam Cr semula berkadar 15 ppm turun hingga 51,85 persen. Selain dapat menyerap logam berat, eceng gondok dilaporkan juga mampu menyerap residu pestisida.

Sebagian besar masyarakat yang berada di Perumahan Green Tombro, Kota Malang membuang limbah cair hasil aktivitas cuci, mandi, dan dapur langsung ke saluran pembuangan air tanpa diolah terlebih dahulu. Lama – kelamaan, hasil limbah ini mengalami dekomposisi berubah menjadi kehitaman dan menimbulkan bau busuk dan menimbulkan berbagai penyakit. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa tanaman air mampu menguraikan limbah cair tersebut, sehingga air limbah buangan menjadi lebih baik. Sebelum limbah dibuang ke saluran pembuangan air, dialirkan ke selokan sampai penampungan di pekarangan rumah, yang ditanami tanaman hias air. Disinilah air limbah ini mengalami proses penguraian. Salah satu alternatif pengolahan limbah cair domestik yaitu dengan cara filtrasi dengan menggunakan media tanaman yang efisien, dan efektif (Rahmawati, 2020).

Karakteristik limbah cair domestik sebelum terjadi pengolahan di Perumahan Green Tombro Kota Malang yaitu memiliki pH = 9, kandungan COD sebesar 296,45 mg/l, dan kandungan BOD sebesar 14,813 mg/l. Sedangkan setelah mengalami proses pengolahan, karakteristik limbah cair domestik memiliki pH = 7 (dikatakan netral), kandungan COD sebesar 296,45 mg/l dan kandungan BOD sebesar 80,85 mg/l. Sistem pengolahan untuk limbah cair domestik yaitu dengan perlakuan secara filtrasi, kemudian dilanjutkan dengan pengolahan menggunakan tanaman eceng gondok dan diakhiri dengan desinfeksi oleh sinar matahari sehingga dapat menghasilkan air yang memenuhi standar baku mutu limbah cair domestik yang dapat dibuang ke badan air atau dapat dimanfaatkan kembali untuk tanaman sesuai dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 112 Tahun 2003 dan dapat digunakan ulang sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air baku mutu kelas II (Rahmawati, 2020).

# **BAB III**

## **PELUANG DAN TANTANGAN DALAM PENGEMBANGAN APLIKASI MATERIAL LAHAN BASAH**

---

Seperti yang telah dijelaskan pada bab-bab sebelumnya, begitu banyak penelitian yang menggunakan material lahan basah untuk diaplikasikan pada berbagai bidang seperti industri, pangan, bahkan lingkungan terutama untuk perbaikan kondisi lingkungan. Namun, sampai saat ini penelitian untuk optimalisasi performa material dari lahan basah masih terus dilakukan agar material tersebut dapat diproses melalui metode yang sederhana dan layak menggantikan material komersil konvensional. Pengaplikasian dilapangan juga masih memerlukan uji coba lebih lanjut agar

material yang telah ditemukan dapat diaplikasikan secara berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Jika kita berbicara tentang pemanfaatan suatu material lahan basah, sudah tentu kita akan tertuju pada biomassa (tumbuhan) yang hidup pada suatu lahan basah seperti purun tikus, enceng gondok, pohon sagu, padi, talas atau pun pohon enau. Sebagian besar tanaman tersebut merupakan tanaman dengan komposisi serat yang besar, kalau pun ada beberapa tanaman yang menyediakan sumber karbohidrat yang besar, maka akan dijadikan sebagai sumber bahan pangan. Hal tersebut menyebabkan terjadinya konflik kepentingan dalam pemanfaatan material lahan basah, apakah akan digunakan untuk pengembangan material baru atau untuk pemenuhan kebutuhan pangan.

Sebagai contoh tanaman padi, kita hanya bisa menggunakan sisa atau limbah dari proses pengolahan padi sebagai sumber untuk pengembangan material baru sedangkan biji padi (beras) yang kaya akan karbohidrat menjadi bahan pangan. Padahal, dalam pengembangan material adsorben terutama karbon aktif, penggunaan sumber karbohidrat beserta turunannya sebagai sumber karbon dapat menghasilkan karbon aktif dengan performa yang baik dikarenakan banyaknya gugus fungsi yang terbentuk pada material tersebut jika dibandingkan dengan menggunakan sumber dari lignoselulosa dan selulosa (Hai Liu, Zhang, Ngo, et al., 2015).

*(cari gambar tanaman padi yang dimanfaatkan beras dan limbahnya, untuk menegaskan kalau kita hanya bisa memanfaatkan*

*limbahnya saja dengan begitu sebagian besar material yang kita gunakan adalah lignoselulosa dan selulosa yang cenderung lebih susah untuk dimodifikasi)*

Berkaca pada kasus tadi, kita dapat menyimpulkan bahwa sebagian besar material lahan basah yang dapat digunakan untuk pengembangan material baru yaitu material yang bersumber dari lignoselulosa atau pun selulosa dan turunannya. Walau pun material tersebut memiliki gugus aktif lebih kecil dibandingkan sumber karbon yang berasal dari karbohidrat namun memiliki luas permukaan serta pori yang jauh lebih banyak sekitar 2 – 4 kali (Li et al., 2018). Selain itu, jika kita bandingkan penelitian-penelitian 10 tahun terakhir mengenai pengembangan karbon aktif dari material lahan basah didapatkan kesimpulan bahwa rata-rata luas permukaan rata-rata karbon aktif dari material lahan basah lebih besar dibandingkan luas permukaan rata-rata karbon aktif komersial. Hal tersebut menunjukkan material lahan basah memiliki potensi yang sangat besar untuk menggantikan material pada pembuatan karbon aktif konvensional, meskipun metode pengolahannya masih tergolong rumit dengan aplikasi yang masih sangat terbatas. Material lahan basah pun memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi dan tidak kurang dari 30% dari keseluruhan komposisi (berdasarkan data pada Tabel 1.3). Besarnya kandungan karbon tersebut semakin memperkuat bukti bahwa material lahan basah memiliki potensi yang sangat besar dalam pembuatan adsorben terutama karbon aktif. Oleh sebab itu, metode yang efektif dan efisien untuk memproduksi karbon aktif dari material lahan basah dengan performa yang baik serta dapat

diaplikasikan secara berkelanjutan sangat penting untuk dikembangkan.

Arah pengembangan penelitian untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam pengolahan karbon aktif tersebut bisa dengan menemukan metode yang tepat untuk meningkatkan pembentukan gugus aktif pada adsorben berbasis lignoselulosa dan selulosa. Peningkatan gugus aktif pada permukaan yang memiliki luas yang tinggi akan meningkatkan performa adsorben secara signifikan. Namun, penerapannya masih memerlukan studi lebih lanjut dimana secara umum sudah diketahui bahwa modifikasi pada material berbasis lignoselulosa dan selulosa masih relatif sulit.

Pemanfaatan material lahan basah juga diterapkan dalam pembuatan material membran terutama membrane polimerik berbasis selulosa. Secara umum membran berbasis selulosa memiliki sifat hidrofilik dengan ketahanan fisik yang lebih kuat dibandingkan bahan yang bersifat hidrofobik, namun cukup rentan terhadap pengaruh senyawa kimia (Tutriyanti, 2017). Sebagai contoh, enceng gondok yang dimanfaatkan kandungannya untuk menggantikan material selulosa konvensional. Selain itu ada juga nipah yang kaya akan selulosa dan juga bisa dimanfaatkan sebagai material pengganti. Hingga saat ini, penelitian tentang enceng gondok dan nipah terus dilakukan untuk mendapatkan komposisi dan kondisi yang ideal. Meskipun telah banyak penelitian dilakukan namun hasil yang maksimal belum diperoleh. Hasil penelitian membran selulosa dari enceng gondok menunjukkan fluks yang diperoleh relatif tinggi namun rejeksi masih rendah. Disamping itu, penelitian memanfaatkan nipah-silika menunjukkan

nilai rejeksi yang sangat tinggi, namun fluks masih sangat rendah. Kondisi yang sama juga terjadi pada pemanfaatan limbah kulit pisang, dimana kandungan pektin dari kulit pisang dapat dijadikan senyawa peningkat karakter fisik pada membran berbasis keramik. Suatu membran dapat dikategorikan baik jika memiliki fluks dan rejeksi yang tinggi (Gao et al., 2009; Soroko et al., 2011). Dengan penelitian lanjut untuk mendapatkan formulasi yang tepat diharapkan nantinya penelitian pengembangan material lahan basah ini dapat masuk ketahapan *scale-up*.

Material berbasis lahan basah juga memiliki potensi dalam proses pengolahan limbah. Seperti pada penanganan limbah fosfor dalam bentuk senyawa fosfat yang biasanya dihasilkan dari limbah domestik seperti air sisa cucian. Kandungan fosfat berlebih dapat meningkatkan pertumbuhan gulma air yang menyebabkan penurunan kualitas air. Penurunan kualitas air akan berimbas langsung pada kehidupan manusia dan hewan. Salah satu cara yaitu dengan menggunakan adsorpsi berbasis material lahan untuk penyerapan fosfat. Hasil penelitian menunjukkan biochar berbasis material lahan basah mampu menyisihkan >70% fosfat dari air limbah yang ditangani (Xu et al., 2022). Meskipun begitu, kapasitas adsorpsi masih tergolong relatif rendah, sehingga perlu penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan kapasitas dan performa adsorben. Penelitian lainnya untuk mengatasi fosfor hasil limbah domestik rumah tangga yaitu *constructed wetland – microbial fuel cell* (CW-MFC). Teknologi tersebut selain mengatasi pencemaran lingkungan oleh limbah domestik sekaligus juga menghasilkan energi berupa listrik dengan memanfaatkan ion – ion terlarut dalam limbah

domestik tersebut. Proses kombinasi pengolahan limbah dan produksi energi ini mampu menghasilkan listrik paling besar sekitar  $450 \text{ mW/m}^2$  lahan basah buatan yang digunakan (X. Huang et al., 2021). Hasil tersebut masih sangat kecil untuk dapat mensuplai kebutuhan listrik konvensional sehingga perlu optimalisasi dan metode baru yang dapat meningkatkan produksi listrik yang dihasilkan.

Penanganan limbah menggunakan teknologi membran berbasis material lahan basah juga secara simultan terus dilakukan. Pembuatan membran adsorber dari enceng gondok mampu menyisihkan ion Cr(IV) dengan baik. Penambahan silika dari sekam padi pada membran UF Polisulfon mampu memberikan performa lebih baik dari sisi fluks, dibandingkan dengan menggunakan Psf murni. Meskipun begitu, kemampuan rejeksi membran masih menjadi permasalahan yang perlu diselesaikan. Ampas tebu yang merupakan limbah dari pabrik gula dan juga salah satu material lahan basah telah diteliti dan menghasilkan membran yang memiliki 2 sifat yaitu super-hidrofobik sekaligus super-oleofilik. Membran tersebut mampu memisahkan minyak dari air dengan rejeksi yang tinggi mencapai  $> 90\%$  (Jamalludin et al., 2019). Baik fluks maupun rejeksi sudah relatif tinggi untuk pemisahan menggunakan membran namun *scale-up* masih belum dilakukan.

Pemanfaatan lain dari material berbasis lahan basah adalah sebagai bahan pembantu (*reinforcement*) dalam pembuatan busa dari pati singkong. Penambahan selulosa enceng gondok terbukti mampu meningkatkan kekuatan mekanis material, disamping itu bahan yang dibuat tetap bersifat biodegradabel. Kualitas busa yang

dihasilkan cukup baik dengan daya adsorb air yang rendah, namun masih belum bisa menandingi kualitas busa komersial dari *expanded polystyrene* (Nugroho, Maharani, Legowo, Hadi, & Purba, 2022).

Material *biochar* berbasis lahan basah juga dapat diterapkan sebagai agen penyubur tanah dengan cara mempengaruhi karakter fisika dan kimia tanah disebabkan adanya perubahan komposisi unsurhara dalam tanah. Penambahan *biochar* akan meningkatkan pH tanah dan menambah jumlah nutrien seperti carbon (C), nitrogen (N), posfor (P) dan potasium (K) serta meningkatkan mikroorganismen tanah. Hal tersebut meningkatkan produktivitas lahan jagung uji coba. Selain itu, *biochar* tersebut dapat pula berfungsi sebagai penjerap carbon dioksida diudara sehingga mengurangi konsentrasinya diudara, dengan begitu dapat membantu mengurangi gas emisi yang mengakibatkan rumah kaca (Cui et al., 2022).

Meskipun penelitian tentang pemanfaatan lahan basah sudah dilakukan secara luas, namun performa material berbasis lahan basah maupun ketersediaan bahan material lahan basah masih menjadi tantangan dikarenakan habitat asli tanaman lahan basah jauh dari tempat pemukiman dan cenderung didaerah terpencil dengan akses yang terbatas. Biomassa lahan basah sendiri pun memiliki kandungan air yang tinggi dengan bobot kering yang sangat rendah sehingga untuk pemerosesan lebih lanjut dengan tahapan yang panjang memerlukan biaya produksi yang relatif tinggi. Disamping itu, pemanfaatan material lahan basah ini harus memperhatikan dampak yang terjadi setelah material digunakan,

terutama pada penanganann limbah agar tidak terjadi pencemaran akibat pembuangan material yang telah digunakan baik berupa logam berat, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs), maupun radikal bebas (Cui et al., 2022). Oleh karena itu, faktor efisiensi, efektifitas, keekonomian dan keberlangsungan teknologi dan penerapan material tersebut masih harus mendapatkan kajian yang mendalam. Karenanya penerapan teknologi tepat guna dalam pengembangannya masih sangat diperlukan agar potensi dapat dioptimalkan dan tantangan dapat diatasi.

# BAB IV

## PENUTUP

---

Lahan basah adalah daerah yang meliputi daerah rawa, payau, lahan gambut dan perairan alami atau buatan; tetap atau sementara; dengan air yang tergenang atau mengalir, tawar, payau atau asin; termasuk wilayah perairan laut yang kedalamannya tidak lebih dari enam meter pada waktu air surut.

Material – material lahan basah dapat diartikan sebagai material yang diproduksi dengan menggunakan bahan baku yang berasal dari lahan basah baik berupa biomassa atau senyawa organik maupun mineral-mineral anorganik. Material tersebut dapat dimanfaatkan sebagai adsorben, membrane, komposit filtrasi, lahan basah buatan, material penunjang (*reinforcement*), sebagai sumber energi.

Dalam pengaplikasiannya material berbasis lahan basah dapat digunakan dalam teknologi pengolahan air dan juga air limbah serta dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi baru. Selain itu pemanfaatan maerial berbasis lahan basah memiliki keunggulan

berupa: sumber daya yang besar, pertumbuhan biomassa yang masif, dan dapat sekaligus mengatasi permasalahan lingkungan seperti peningkatan jumlah gulma air.

Penelitian tentang pemanfaatan lahan basah sudah dilakukan secara luas, namun performa material berbasis lahan basah maupun ketersediaan bahan material lahan basah masih menjadi tantangan. faktor efisiensi, efektifitas, keekonomian dan keberlangsungan teknologi dan penerapan material tersebut masih harus mendapatkan kajian yang mendalam.

# ACKNOWLEDGEMENT

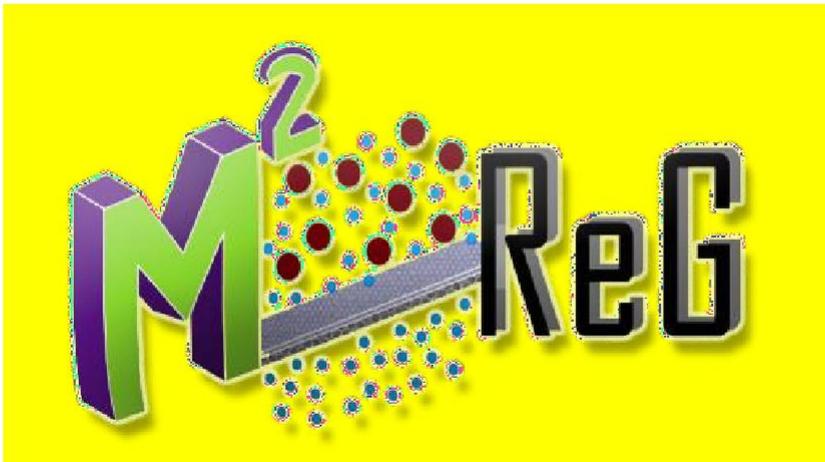
---

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. **Hibah Program Dosen Wajib Meneliti PNBP Universitas Lambung Mangkurat Tahun 2022**
2. **Hibah Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi 2020-2022** Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat jenderal Penguatan Riset dan pengembangan Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia.
3. **Hibah Penelitian Thesis Magister 2022** Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat jenderal Penguatan Riset dan

pengembangan Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia.

4. **Hibah Penelitian Disertasi Doktor 2022-2023** Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan pengembangan Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia.
- 5.
6. Para mahasiswa/i yang tergabung dalam **Membranes and Materials Research Group (M<sup>2</sup>ReG)** Universitas Lambung Mangkurat Kalimantan Selatan yang ingin melakukan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat tentang materials dan membranes technology. Photo berikut merupakan personil **dan M<sup>2</sup>ReG Tahun 2022**.



# DAFTAR PUSTAKA

---

- Ahn, C., Mitsch, W. J., & Wolfe, W. E. (2001). Effects of recycled FGD liner material on water quality and macrophytes of constructed wetlands: A mesocosm experiment. *Water Research*, 35(3), 633-642.
- Anggara, A. S. (2018). Aspek hukum pelestarian lahan basah pada situs Ramsar di Indonesia (studi terhadap implementasi Konvensi Ramsar 1971 di Taman Nasional Tanjung Puting). *J Mimbar Hukum-Fakultas Hukum Universitas Gadjah Mada*, 30(2), 246-261.
- Anggoro, N. (2009). Hasil sampling tanaman kelapa. *Tabloid sinar tani edisi*, 22, 28.

- Asmadi, K., & Kasjono, H. S. (2011). *Teknologi pengolahan air minum*. Yogyakarta: Gosyen Publishing.
- Avsar, Y., Tarabeah, H., Kimchie, S., & Ozturk, I. (2007). Rehabilitation by constructed wetlands of available wastewater treatment plant in Sakhnin. *Ecological Engineering*, 29(1), 27-32.
- Aziz, S., Ali, M., Asghar, S., & Ahmed, S. (2015). Comparative analysis of *Ranunculus muricatus* and *Typha latifolia* as wetland plants applied for domestic wastewater treatment in a mesocosm scale study. *International Journal of Environmental Ecological Engineering*, 9(1), 110-118.
- Azwani, N., Mohd Rasidek, N. A., Firdhaus, M., Nordin, M. F., Yusof, Y., Tokuyama, H., & Nagatsu, Y. (2018). Effect of temperature on rheology behaviour of banana peel pectin extracted using hot compressed water. *Jurnal Teknologi*, 80. doi:10.11113/jt.v80.11467
- Bilba, K., Arsene, M. A., & Ouensanga, A. (2007). Study of banana and coconut fibers Botanical composition, thermal degradation and textural observations. *Bioresour Technol*, 98(1), 58-68. doi:10.1016/j.biortech.2005.11.030
- Boar, R. R., Crook, C. e., & Moss, B. (1989). Regression of *Phragmites australis* reedswamps and recent changes of water chemistry in the Norfolk Broadland, England. *Aquatic botany*, 35(1), 41-55. doi:[https://doi.org/10.1016/0304-3770\(89\)90065-X](https://doi.org/10.1016/0304-3770(89)90065-X)
- Boopathi, L., Sampath, P., & Mysamy, K. J. C. P. B. E. (2012). Investigation of physical, chemical and mechanical properties of raw and alkali treated Borassus fruit fiber. 43(8), 3044-3052.
- Brix, H. J. A. B. (1989). Gas exchange through dead culms of reed, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel. 35(1), 81-98.
- Burnett, D., Champion, P., Clayton, J., & Ogden, J. (2007). A system for investigation of the temperature responses of emergent aquatic plants. *Aquatic botany*, 86(2), 187-190.
- Cichosz, S., & Masek, A. (2020). IR study on cellulose with the varied moisture contents: Insight into the supramolecular structure. *Materials*, 13(20), 4573.

- Cui, X., Wang, J., Wang, X., Khan, M. B., Lu, M., Khan, K. Y., . . . Chen, G. (2022). Biochar from constructed wetland biomass waste: A review of its potential and challenges. *Chemosphere*, 287, 132259. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132259>
- Danish, M., Hashim, R., Ibrahim, M. M., & Sulaiman, O. (2013). Effect of acidic activating agents on surface area and surface functional groups of activated carbons produced from Acacia mangium wood. *Journal of Analytical Applied Pyrolysis*, 104, 418-425.
- Devard, A., Taleb, M. C., Olmos, G. V., Marchesini, F. A., & Gutierrez, L. B. (2021). Cellulose Beads as Novel Support of Copper Active Site for the Catalytic Abatement of Water Emerging Contaminant.
- Duke, J. (1983). Handbook of energy crops. In *An excellent source of information on numerous plants*: Available only online.
- Egot, M. P., & Alguno, A. C. (2018). *Preparation and characterization of cellulose acetate from pineapple (Ananas comosus) leaves*. Paper presented at the Key Engineering Materials.
- Eljamal, O., Sasaki, K., & Hirajima, T. (2013). Sorption kinetic of arsenate as water contaminant on zero valent iron. *Journal of Water Resource and Protection*, 5(6).
- Eljamal, O., Thompson, I. P., Maamoun, I., Shubair, T., Eljamal, K., Lueangwattanapong, K., & Sugihara, Y. (2020). Investigating the design parameters for a permeable reactive barrier consisting of nanoscale zero-valent iron and bimetallic iron/copper for phosphate removal. *Journal of Molecular Liquids*, 299, 112144.
- Elma, M. (2016). Proses Pemisahan Menggunakan Teknologi Membran. In: Lambung Mangkurat University Press 2016.
- Elma, M., Fitriani, Rakhman, A., & Hidayati, R. (2018). Silica P123 Membranes for Desalination of Wetland Saline Water in South Kalimantan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 175, 012007. doi:10.1088/1755-1315/175/1/012007
- Elma, M., Hairullah, & Assyaifi, Z. L. (2018). Desalination Process via Pervaporation of Wetland Saline Water. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 175, 012009. doi:10.1088/1755-1315/175/1/012009

- Elma, M., Rampun, E. L. A., Rahma, A., Assyaifi, Z. L., Sumardi, A., Lestari, A. E., . . . Darmawan, A. (2020). Carbon templated strategies of mesoporous silica applied for water desalination: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 38, 101520.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101520>
- Elma, M., Wang, D. K., Yacou, C., & Diniz da Costa, J. C. (2015). Interlayer-free P123 carbonised template silica membranes for desalination with reduced salt concentration polarisation. *Journal of Membrane Science*, 475, 376-383.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2014.10.026>
- Elma, M., Yacou, C., Diniz da Costa, J. C., & Wang, D. K. (2013). Performance and long term stability of mesoporous silica membranes for desalination. *Membranes (Basel)*, 3(3), 136-150.  
doi:<https://doi.org/10.1002/chem.200901879/10.3390/membranes3030136>
- Eltawab, R., Ayoub, M., El-Morsy, A., & Afify, H. (2019). Evaluating Performance of Different Filter Media Stratification for Tertiary Treatment of Wastewater. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, 61, 289-303.
- Faujiah, F. (2012). *Pemanfaatan Karbon Aktif dari Limbah Padat Industri Agar-agar sebagai Adsorben Logam Berat dan Bahan Organik dari Limbah Industri Tekstil*.
- Fockink, D. H., Sánchez, J. H., & Ramos, L. P. (2018). Comprehensive analysis of sugarcane bagasse steam

- explosion using autocatalysis and dilute acid hydrolysis (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) at equivalent combined severity factors. *Industrial Crops Products*, 123, 563-572.
- Frankel, R. J. (1979). Operation of the coconut fiber/burnt rice husks filter for supplying drinking water to rural communities in Southeast Asia. *American journal of public health*, 69(1), 75-76. doi:10.2105/ajph.69.1.75
- Gaan, S., & Sun, G. (2007). Effect of phosphorus flame retardants on thermo-oxidative decomposition of cotton. *Polymer Degradation and Stability - POLYM DEGRAD STABIL*, 92, 968-974. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2007.03.009
- Gaan, S., & Sun, G. (2007). Effect of phosphorus flame retardants on thermo-oxidative decomposition of cotton. *Polymer Degradation Stability*, 92(6), 968-974.
- Gao, L., Tang, B., & Wu, P. (2009). An experimental investigation of evaporation time and the relative humidity on a novel positively charged ultrafiltration membrane via dry-wet phase inversion. *Journal of Membrane Science*, 326(1), 168-177.
- Ghrabi, A., Bousselmi, L., Masi, F., & Regelsberger, M. (2011). Constructed wetland as a low cost and sustainable solution for wastewater treatment adapted to rural settlements: the Chorfech wastewater treatment pilot plant. *Water science technology*, 63(12), 3006-3012.
- Giosafatto, C. V. L., Di Pierro, P., Gunning, P., Mackie, A., Porta, R., & Mariniello, L. (2014). Characterization of Citrus Pectin Edible Films Containing Transglutaminase-Modified Phaseolin. *Carbohydrate polymers*, 106, 200-208.
- Goher, M. E., Hassan, A. M., Abdel-Moniem, I. A., Fahmy, A. H., Abdo, M. H., & El-sayed, S. M. (2015). Removal of aluminum, iron and manganese ions from industrial wastes using granular activated carbon and Amberlite IR-120H. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 41(2), 155-164.
- Gokce, D. (2019). Introductory Chapter: Wetland Importance and Management. In.
- Göltenboth, F., & Schoppe, S. (2006). 10 - MANGROVES. In F. Göltenboth, K. H. Timotius, P. P. Milan, & J. Margraf (Eds.), *Ecology of Insular Southeast Asia* (pp. 187-214). Amsterdam: Elsevier.

- González, P. G., Gamboa - González, S., Martínez, I., & Hernandez-Quiroz, T. (2019). Preparation of activated carbon from water hyacinth stems by chemical activation with K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> and its performance as adsorbent of sodium naproxen. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 39. doi:10.1002/ep.13366
- Gray, K. R., & Biddlestone, A. J. (1995). Engineered reed-bed systems for wastewater treatment. *Trends in biotechnology*, 13(7), 248-252.
- Groffman, P. M., Gold, A. J., & Addy, K. (2000). Nitrous oxide production in riparian zones and its importance to national emission inventories. *Chemosphere-Global change science*, 2(3-4), 291-299.
- Guillaumat, L., Terekhina, S., Derbali, I., Monti, A., El Mahi, A., & Jendli, Z. (2018). Flax Fibers Reinforced Thermoplastic Resin Based Biocomposites, a Future for Sustainable Composite Parts. *MATEC Web of Conferences*, 203, 06019. doi:10.1051/mateconf/201820306019
- Guo, Z., Zhang, A., Zhang, J., Liu, H., Kang, Y., & Zhang, C. (2017). An ammoniation-activation method to prepare activated carbon with enhanced porosity and functionality. *Powder Technology*, 309, 74-78.
- Guo, Z., Zhang, J., & Liu, H. (2016). Ultra-high Rhodamine B adsorption capacities from an aqueous solution by activated carbon derived from Phragmites australis doped with organic acid by phosphoric acid activation. *RSC Advances*, 6(47), 40818-40827. doi:10.1039/C5RA25200H
- Guo, Z., Zhang, J., Liu, H., & Kang, Y. (2017). Development of a nitrogen-functionalized carbon adsorbent derived from biomass waste by diammonium hydrogen phosphate activation for Cr(VI) removal. *Powder Technology*, 318, 459-464. doi:<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.06.024>
- Guo, Z., Zhang, X., Kang, Y., & Zhang, J. (2017). Biomass-Derived Carbon Sorbents for Cd(II) Removal: Activation and Adsorption Mechanism. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5(5), 4103-4109. doi:10.1021/acssuschemeng.7b00061
- Hajimi, H., Salbiah, S., & Susilawati, S. (2020). Penggunaan Serat Kelapa untuk Pengolahan Limbah Cair Domestik. *JURNAL*

- KESEHATAN LINGKUNGAN: Jurnal dan Aplikasi Teknik Kesehatan Lingkungan*, 17(2), 81-86.
- Hammer, D. A. (2020). *Constructed wetlands for wastewater treatment: municipal, industrial and agricultural*: CRC Press.
- Hartayu, R., Putra, D., & Zainal, A. (2019). Pembuatan Filter Air Sederhana. *Jurnal Abdikarya: Jurnal Karya Pengabdian Dosen dan Mahasiswa*, 3(2).
- Harun, Z., Shohur, M. F., Yunos, M. Z., Jamalludin, M. R., & Ismail, A. F. (2013). *The effect of crystalline rice husk silica on polysulfone membrane for wastewater treatment*. Paper presented at the Applied Mechanics and Materials.
- Haryanti, N. H., Suryajaya, S., Banowati, L., Rahmah, M., & Safi'i, A. (2021). MODIFICATION OF PURUN TIKUS (ELEOCHARIS DULCIS) AS A NATURAL FIBER COMPOSITE USING KMnO<sub>4</sub> AND NaOH. *Spektra: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 6(1), 37-48.
- Haryanto, T., & Suheryanto, D. (2004). *Pemisahan sabut kelapa menjadi serat kelapa dengan alat pengolah (defibring machine) untuk usaha kecil*. Paper presented at the Seminar Rekayasa Kimia dan Proses. Semarang: Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Hauptfleisch, K. (2015). *A model for water hyacinth biological control*.
- Headquarters, U. (2000) *Army Corps of Engineers. 2002. Coastal Engineering Manual (Vol Part II)*.
- Hegazy, B. (2008). A simple technology for industrial wastewater treatment. *J Appl Sci Res*, 4, 397-402.
- Heyne, K. (1987). Useful plants of Indonesia. *Badan Litbang Kehutanan, Jakarta*.
- Hotová, G., Slovák, V., Zelenka, T., Maršálek, R., & Parchaňská, A. (2020). The role of the oxygen functional groups in adsorption of copper (II) on carbon surface. *Sci Total Environ*, 711, 135436. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.135436
- Hou, J., Huang, L., Yang, Z., Zhao, Y., Deng, C., Chen, Y., & Li, X. (2016). Adsorption of ammonium on biochar prepared from giant reed. *Environmental Science and Pollution Research*, 23. doi:10.1007/s11356-016-7084-4
- Huang, X., Duan, C., Duan, W., Sun, F., Cui, H., Zhang, S., & Chen, X. (2021). Role of electrode materials on performance and microbial characteristics in the constructed wetland coupled

- microbial fuel cell (CW-MFC): A review. *Journal of Cleaner Production*, 301, 126951. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126951>
- Huang, Y., Cannon, F. S., Guo, J., Watson, J. K., & Mathews, J. P. (2016). Atomistic modelling insight into the structure of lignite-based activated carbon and benzene sorption behavior. *RSC Advances*, 6(61), 56623-56637.
- Ibrahim, B., Schlegel, M., & Kanswohl, N. (2018). Effectiveness of biochar from hydrothermal carbonization of wetland biomass for sorption of ammonia. *Chemie Ingenieur Technik*, 90(3), 340-347.
- Ilyas, I., Tan, V., & Kaleka, M. (2021). Penjernihan Air Metode Filtrasi untuk Meningkatkan Kesehatan Masyarakat RT Pu'uzeze Kelurahan Rukun Lima Nusa Tenggara Timur. *Warta Pengabdian*, 15(1), 46-52.
- Irawan, C., Nata, I. F., Putra, M. D., Elma, M., & Hanisa, K. F. (2017). Biocomposite Materials of *Eleocharis dulcis* Fibers with Iron (III) Nanoparticles and Its Potential for Sasirangan Textile Wastewater Treatment. *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol*, 7(4), 1234-1240.
- Isdayanti, M., Rasidi, M. I., & Elma, M. (2016). Pektin dari Kulit Pisang Kepok (*Musa Paradisiaca* Linn) sebagai Edible Film and Coating. *Sniksda 2016*.
- Istirokhatun, T., Rokhati, N., Rachmawaty, R., Meriyani, M., Priyanto, S., & Susanto, H. (2015). Cellulose Isolation from Tropical Water Hyacinth for Membrane Preparation. *Procedia Environmental Sciences*, 23, 274-281. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.01.041>
- Jamalludin, M. R., Hubadillah, S. K., Harun, Z., Othman, M. H. D., & Yunos, M. Z. (2019). Novel superhydrophobic and superoleophilic sugarcane green ceramic hollow fibre membrane as hybrid oil sorbent-separator of real oil and water mixture. *Materials Letters*, 240, 136-139. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matlet.2018.12.111>
- Joko, T. (2010). *Unit produksi dalam sistem penyediaan air minum*. Joseph, C., & Frankie, Y. I. I. (2008). Textural and chemical characterization of activated carbon prepared from rice husk (*oryza sativa*) using a two-stage activation process. *Journal of Engineering Science and Technology*, 3.

- Joshi, S. V., Drzal, L. T., Mohanty, A. K., & Arora, S. (2004). Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites? *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 35(3), 371-376. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2003.09.016>
- Kadlec, R. H. (1999). Chemical, physical and biological cycles in treatment wetlands. *Water science technology*, 40(3), 37-44.
- Kadlec, R. H., & Wallace, S. (2008). *Treatment wetlands*: CRC press.
- Kencanawati, C., Sugita, I. K. G., Suardana, N., & Budiasa, I. (2018). Pengaruh perlakuan alkali terhadap sifat fisik dan mekanik serat kulit buah pinang. *Jurnal Energi dan Manufaktur*, 11(1), 6-10.
- Klomjek, P., & Nitorisavut, S. (2005). Constructed treatment wetland: a study of eight plant species under saline conditions. *Chemosphere*, 58(5), 585-593.
- Kosjoko, K., Sonief, A. A. a., & Sutikno, D. (2012). Pengaruh Waktu Perlakuan Kalium Permanganate (KMnO<sub>4</sub>) Terhadap Sifat Mekanik Komposit Serat Purun Tikus (*Eleocharis Dulcis*). *Jurnal Rekayasa Mesin*, 2(3), 193-198.
- Kuehn, E., & Moore, J. A. (1995). Variability of treatment performance in constructed wetlands. *Water Science and Technology*, 32(3), 241-250. doi:[https://doi.org/10.1016/0273-1223\(95\)00625-7](https://doi.org/10.1016/0273-1223(95)00625-7)
- Kulkarni, A. G., Satyanarayana, K. G., Rohatgi, P. K., & Vijayan, K. (1983). Mechanical properties of banana fibres (*Musa sepientum*). *Journal of Materials Science*, 18(8), 2290-2296. doi:10.1007/BF00541832
- Kusairi S, A., & Ni'mah, L. (2015). Utilization Fibers and Palm Kernel Shells and Tapioca Adhesive as Matrix in the Manufacture of Composite Boards as an Alternative Raw Material in Furniture Industry. *International Journal of ChemTech Research*.
- Lenihan, P., Orozco, A., O'Neill, E., Ahmad, M. N. M., Rooney, D. W., & Walker, G. M. (2010). Dilute acid hydrolysis of lignocellulosic biomass. *Chemical Engineering Journal*, 156(2), 395-403. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.10.061>
- Li, Y., Zhang, J., & Liu, H. (2018). In-situ modification of activated carbon with ethylenediaminetetraacetic acid disodium salt

- during phosphoric acid activation for enhancement of nickel removal. *Powder Technology*, 325, 113-120. doi:10.1016/j.powtec.2017.10.051
- Liu, H., Cheng, C., & Wu, H. (2021). Sustainable utilization of wetland biomass for activated carbon production: A review on recent advances in modification and activation methods. *Science of The Total Environment*, 790, 148214. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148214>
- Liu, H., Liang, S., Gao, J., Ngo, H., Guo, W., Guo, Z., . . . Li, Y. (2014). Enhancement of Cr(VI) removal by modifying activated carbon developed from *Zizania caduciflora* with tartaric acid during phosphoric acid activation. *Chemical Engineering Journal*, 246, 168–174. doi:10.1016/j.cej.2014.02.046
- Liu, H., Ning, W., Cheng, P., Zhang, J., Wang, Y., & Zhang, C. (2013). Evaluation of animal hairs-based activated carbon for sorption of norfloxacin and acetaminophen by comparing with cattail fiber-based activated carbon. *Journal of Analytical Applied Pyrolysis*, 101, 156-165.
- Liu, H., Zhang, J., Bao, N., Cheng, C., Ren, L., & Zhang, C. (2012). Textural properties and surface chemistry of lotus stalk-derived activated carbons prepared using different phosphorus oxyacids: adsorption of trimethoprim. *J Hazard Mater*, 235-236, 367-375. doi:10.1016/j.jhazmat.2012.08.015
- Liu, H., Zhang, J., Jiang, L., Kang, Y., Cheng, C., Guo, Z., & Zhang, C. (2015). Development of carbon adsorbents with high surface acidic and basic group contents from phosphoric acid activation of xylitol. *RSC Adv.*, 5. doi:10.1039/C5RA14579A
- Liu, H., Zhang, J., Ngo, H. H., Guo, W., Wu, H., Cheng, C., . . . Zhang, C. (2015). Carbohydrate-based activated carbon with high surface acidity and basicity for nickel removal from synthetic wastewater. *RSC Advances*, 5(64), 52048-52056.
- Liu, Q., Luo, L., & Zheng, L. (2018). Lignins: biosynthesis and biological functions in plants. *International journal of molecular sciences*, 19(2), 335.
- Lowrance, R., Altier, L. S., Newbold, J. D., Schnabel, R. R., Groffman, P. M., Denver, J. M., Robinson, J. L. (1997).

- Water quality functions of riparian forest buffers in Chesapeake Bay watersheds. *Environmental management*.
- Maftoonazad, N., Ramaswamy, H., Moalemiyan, M., & Kushalappa, A. (2007). Effect of Pectin-Based Edible Emulsion Coating on Changes in Quality of Avocado Exposed to *Lasiodiplodia Theobromae* Infection. *Carbohydrate polymers*, 68(2), 341-349.
- Mander, Ü., Kuusemets, V., & Ivask, M. (1995). Nutrient dynamics of riparian ecotones: A case study from the Porijõgi River catchment, Estonia. *Landscape urban planning*, 31(1-3), 333-348.
- Manimaran, P., Pillai, G. P., Vignesh, V., & Prithiviraj, M. (2020). Characterization of natural cellulosic fibers from Nendran Banana Peduncle plants. *International Journal of Biological Macromolecules*, 162, 1807-1815.
- Marimuthu, T. S., & Atmakuru, R. (2015). *Isolation and Characterization of Cellulose Nanofibers from the Aquatic Weed Water Hyacinth: Eichhornia crassipes (Handbook of Polymer Nanocomposites. Processing, Performance and Application)*: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Marsh, H., & Rodríguez-Reinoso, F. (2006a). CHAPTER 2 - Activated Carbon (Origins). In H. Marsh & F. Rodríguez-Reinoso (Eds.), *Activated Carbon* (pp. 13-86). Oxford: Elsevier Science Ltd.
- Marsh, H., & Rodríguez-Reinoso, F. (2006b). CHAPTER 8 - Applicability of Activated Carbon. In H. Marsh & F. Rodríguez-Reinoso (Eds.), *Activated Carbon* (pp. 383-453). Oxford: Elsevier Science Ltd.
- Maryanti, B., Sonief, A. A. a., & Wahyudi, S. (2011). Pengaruh alkalisasi komposit serat kelapa-poliester terhadap kekuatan tarik. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 2(2), 123-129.
- Masyitah, C., & Aritonang, B. (2019). The preparation and characterization of paper from durian rind and bagasse using alkalization separation method. *International Journal of Respiratory Medicine*, 1(1), 32-38.
- Maucieri, C., Camarotto, C., Florio, G., Albergo, R., Ambrico, A., Trupo, M., & Borin, M. (2019). Bioethanol and biomethane potential production of thirteen pluri-annual herbaceous species. *Industrial Crops Products*, 129, 694-701.

- Maulana, S. (2015). *Ekstraksi dan Karakterisasi Pektin dari Limbah Kulit Pisang Uli (Musa paradisiaca L. AAB)*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- Mesquita, M. d. C., Albuquerque, A., Amaral, L., & Nogueira, R. (2013). Effect of vegetation on the performance of horizontal subsurface flow constructed wetlands with lightweight expanded clay aggregates. *International Journal of Environmental Science Technology*, 10(3), 433-442.
- Moochikkal, R., Masrahi, Y., & Sayed, O. (2018). *Phragmitesaustralis(Poaceae): New addition to Flora of Southwestern Saudi Arabia*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26. doi:10.1016/j.sjbs.2018.11.001
- Moradi, F., Amiri, H., Soleimani-Zad, S., Ehsani, M. R., & Karimi, K. (2013). Improvement of acetone, butanol and ethanol production from rice straw by acid and alkaline pretreatments. *Fuel*, 112, 8-13.
- Motaleb, K. Z. M. A., Ahad, A., Laureckiene, G., & Milasius, R. (2021). Innovative Banana Fiber Nonwoven Reinforced Polymer Composites: Pre- and Post-Treatment Effects on Physical and Mechanical Properties. *Polymers*, 13(21), 3744.
- Mueller, D., & Krobjilowski, A. (2003). New Discovery in the Properties of Composites Reinforced with Natural Fibers. *Journal of Industrial Textiles - J IND TEXT*, 33, 111-130. doi:10.1177/152808303039248
- Mulder, M. (1996). *Basic Principle of Membrane Technology*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Mulder, M., & Mulder, J. (1996). *Basic principles of membrane technology*: Springer science & business media.
- Nafi'ah, R., & Fahmi, H. (2021). Kapasitas Adsorpsi Membran Selulosa Batang Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Termodifikasi Na<sub>2</sub>-EDTA Dengan Variasi Waktu Dan Konsentrasi Logam Cr (VI). *Cendekia Journal of Pharmacy*, 5(1), 16-27.
- Nahil, M. A., & Williams, P. T. (2012). Pore characteristics of activated carbons from the phosphoric acid chemical activation of cotton stalks. *Biomass bioenergy*, 37, 142-149.
- Nesic, A., Ruziq, J., Gordic, M., Ostojic, S., Micic, D., & Onjia, A. (2017). Pectin-Polyvinylpyrrolidone Films: A Sustainable

- Approach to the Development of Biobased Packaging Materials. *Composites Part B: Engineering*, 110, 56-61.
- Nightingale Jr, E. (1959). Phenomenological theory of ion solvation. Effective radii of hydrated ions. *The Journal of Physical Chemistry*, 63(9), 1381-1387.
- Nor, F., Sunarto, W., & Prasetya, A. T. (2014). Sintesis Biomassa Bulu Ayam Teraktivasi NaoH/Na2SO3 Aplikasinya Penurun Kadar Tembaga Limbah Elektroplating. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology*, 3(2).
- Nugraha, I. N. P., Kadek, R., Nyoman, A., & Gede, W. (2016). *Analisis Perbandingan Kekuatan Material Hasil Rekayasa Serat Alam Agave Sisal dan Gerbang untuk Rancangan Body Kendaraan Listrik Ganesha Generasi 1*. Paper presented at the Seminar Nasional Vokasi dan Teknologi.
- Nugroho, A., Maharani, D. M., Legowo, A. C., Hadi, S., & Purba, F. (2022). Enhanced mechanical and physical properties of starch foam from the combination of water hyacinth fiber (*Eichhornia crassipes*) and polyvinyl alcohol. *Industrial Crops and Products*, 183, 114936. doi:<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114936>
- Nurhikmat, A. (2003). Ekstraksi Pektin dari Apel Lokal: Optimalisasi pH dan Waktu Hidrolisis. *Balai Pengembangan Proses dan Teknologi Kimia–LIPI: Yogyakarta*.
- Oktavia, F. (2013). Peran produk olahan sabut kelapa sebagai penunjang kelestarian ekologi. *Prosiding*, 21, 205-210.
- Ostendorp, W. (1989). 'Die-back' of reeds in Europe—a critical review of literature. *Aquatic botany*, 35(1), 5-26.
- Overall, R. A., & Parry, D. L. (2004). The uptake of uranium by *Eleocharis dulcis* (Chinese water chestnut) in the Ranger Uranium Mine constructed wetland filter. *Environmental Pollution*, 132(2), 307-320.
- Panwar, R., & Makvana, K. (2017). Reed-Phragmites karka based constructed wetland for the treatment of domestic wastewater in Ujjain city of Central India. *Int J Sci Res Biol Sci*, 4, 1-5.
- Parde, D., Patwa, A., Shukla, A., Vijay, R., Killedar, D. J., & Kumar, R. (2021). A review of constructed wetland on type, treatment and technology of wastewater. *Environmental Technology & Innovation*, 21, 101261. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101261>

- Parr, T. W. (1990). FACTORS AFFECTING REED (PHRAGMITES AUSTRALIS) GROWTH IN UK REED BED TREATMENT SYSTEMS. In P. F. Cooper & B. C. Findlater (Eds.), *Constructed Wetlands in Water Pollution Control* (pp. 67-76): Pergamon.
- Perkins, J., & Hunter, C. (2000). Removal of enteric bacteria in a surface flow constructed wetland in Yorkshire, England. *Water Research*, 34(6), 1941-1947.
- Pinnata, R., & Damayanti, A. (2012). *Pemanfaatan Selulosa Asetat Eceng Gondok Sebagai Bahan Baku Pembuatan Membran Untuk Desalinasi (Skripsi)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
- Pinney, M. L., Westerhoff, P. K., & Baker, L. (2000). Transformations in dissolved organic carbon through constructed wetlands. *Water Research*, 34(6), 1897-1911.
- Pratiwi, A. E. (2019). *Fungsionalisasi Membran Interlayer-Free Silica-Pectin melalui proses Desalinasi Air Laut.*, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru.
- Preston, C., & Croft, J. (1997). *Aquatic Plants in Britain and Ireland*. Harley Books: Colchester, Essex Croft.
- Rahma, A., Elma, M., Pratiwi, A. E., & Rampun, E. L. (2020). Performance of interlayer-free pectin template silica membranes for brackish water desalination. *Membrane Technology*, 2020(6), 7-11.
- Rahmawati, A. (2020). Pengolahan Limbah Cair Domestik dengan Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) untuk Menghasilkan Air Bersih di Perumahan Green Tombro Kota Malang. *Rekayasa Hijau: Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*, 4(1), 1-8.
- Rajendran, N., Thampi, H. J. C. J. o. F. S., & Technology. (2019). EXTRACTION AND CHARACTERISATION OF PECTIN FROM BANANA PEEL. 11(4).
- Rambabu, N., PAnthapulakkal, S., Sain, M., & Dalai, A. (2016). Production of nanocellulose fibers from pinecone biomass: evaluation and optimization of chemical and mechanical treatment conditions on mechanical properties of nanocellulose films. *Industrial Crops Products*, 83, 746-754.
- Rampun, E. L. A., Elma, M., Syauqiah, I., Putra, M. D., Rahma, A., & Pratiwi, A. E. (2019). Interlayer-free Silica Pectin Membrane for Wetland Saline Water via Pervaporation.

- Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 22(3), 6.  
doi:10.14710/jksa.22.3.99-104
- Rangelova, N., Aleksandrov, L., & Nenkova, S. (2018). Synthesis and Characterization of Pectin/SiO<sub>2</sub> Hybrid Materials. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 85(2), 330-339.
- Reddy, J. P., & Rhim, J.-W. (2018). Extraction and characterization of cellulose microfibers from agricultural wastes of onion and garlic. *Journal of Natural Fibers*, 15(4), 465-473.
- Reddy, K. (2014). *Evaluation of biochar as a potential filter media for the removal of mixed contaminants from urban stormwater runoff*. Paper presented at the 2014 Midwest Biochar Conference.
- Rezki, M. R., Elma, M., Mahmud, M., Sunardi, S., Pratiwi, E. N., Oktaviana, E. N. R., . . . Rahma, A. (2020). Membran karbon templated silika dari karbon nipah (*Nypa fruticans*) untuk aplikasi desalinasi air rawa asin. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 12(2).
- Ristianingsih, Y., Nata, I. F., Anshori, D. S., & Putra, I. P. A. (2014). Pengaruh Konsentrasi HCl dan pH pada Ekstraksi Pektin dari Albedo Durian dan Aplikasinya pada Proses Pengentalan Karet. *Konversi*, 3(1), 32-36.
- Rosnelly, C., Darwis, A., & Noor, E. (2010). Pengaruh Rasio Anhidrida Asetat dalam Proses Asetilasi Selulosa Pulp Kayu Sengon (*Paraserianthes falcataria*) dalam Pembuatan Polimer Selulosa Triasetat. *Journal of Agro-Based Industry*, 27(1), 1-11.
- Saleh, A., Pakpahan, M. M., & Angelina, N. (2009). Pengaruh konsentrasi pelarut, temperatur dan waktu pemasakan pada pembuatan pulp dari sabut kelapa muda. *Jurnal Teknik Kimia*, 16(3).
- Saljoughi, E., Sadrzadeh, M., & Mohammadi, T. (2009). Effect of preparation variables on morphology and pure water permeation flux through asymmetric cellulose acetate membranes. *Journal of Membrane Science - J MEMBRANE SCI*, 326, 627-634. doi:10.1016/j.memsci.2008.10.044
- Saputri, L. H., & Sukmawan, R. (2020). Pengaruh proses blending dan ultrasonikasi terhadap struktur morfologi ekstrak serat limbah batang kelapa sawit untuk bahan baku bioplastik (selulosa asetat). *Rekayasa*, 13(1), 15-21.

- Satyanarayana, K. G., Sukumaran, K., Mukherjee, P. S., Pavithran, C., & Pillai, S. G. K. (1990). Natural fibre-polymer composites. *Cement and Concrete Composites*, 12(2), 117-136. doi:[https://doi.org/10.1016/0958-9465\(90\)90049-4](https://doi.org/10.1016/0958-9465(90)90049-4)
- Scholz, M., & Lee, B. h. (2005). Constructed wetlands: a review. *International journal of environmental studies*, 62(4), 421-447.
- Sgriccia, N., Hawley, M. C., & Misra, M. (2008). Characterization of natural fiber surfaces and natural fiber composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39(10), 1632-1637. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2008.07.007>
- Shamsuddin, M., Yusoff, N., & Sulaiman, M. (2016). Synthesis and characterization of activated carbon produced from kenaf core fiber using H3PO4 activation. *Procedia Chemistry*, 19, 558-565.
- Sivakumar, M., Mohan, D. R., & Rangarajan, R. (2006). Studies on Cellulose Acetate-Polysulfine Ultrafiltration Membranes II. Effect of Additive Concentration. *Journal of Membrane Science*, 268, 208-219.
- Soroko, I., Makowski, M., Spill, F., & Livingston, A. (2011). The effect of membrane formation parameters on performance of polyimide membranes for organic solvent nanofiltration (OSN). Part B: Analysis of evaporation step and the role of a co-solvent. *Journal of Membrane Science*, 381(1-2), 163-171.
- Southichak, B., Nakano, K., Nomura, M., Chiba, N., & Nishimura, O. (2009). Differences in adsorption mechanisms of heavy metal by two different plant biomasses: reed and brown seaweed. *Water Sci Technol*, 59(2), 339-346. doi:10.2166/wst.2009.867
- Strathmann, H., Scheible, P., & Baker, R. W. (1971). A rationale for the preparation of Loeb-Sourirajan-type cellulose acetate membranes. *Journal of Applied Polymer Science*, 15(4), 811-828. doi:<https://doi.org/10.1002/app.1971.070150404>
- Sudarsan, J., Subramani, S., Rajan, R. J., Shah, I., & Nithiyantham, S. (2018). *Simulation of constructed wetland in treating wastewater using fuzzy logic technique*. Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series.

- Sulistiyanti, D., Antoniker, A., & Nasrokhah, N. (2018). Penerapan metode filtrasi dan adsorpsi pada pengolahan limbah laboratorium. *EduChemia*, 3(2), 147-156.
- Sun, S., Sun, S., Cao, X., & Sun, R. (2016). The role of pretreatment in improving the enzymatic hydrolysis of lignocellulosic materials. *Bioresource Technology Reports*, 199, 49-58.
- Syauqiah, I., Amalia, M., & Kartini, H. A. (2011). Analisis variasi waktu dan kecepatan pengaduk pada proses adsorpsi limbah logam berat dengan arang aktif. *Info-Teknik*, 12(1), 11-20.
- Syauqiah, I., Elma, M., Mailani, D., & Pratiwi, N. (2021). Activated carbon from Nypa (*Nypa fruticans*) leaves applied for the Fe and Mn removal. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 980, 012073. doi:10.1088/1757-899X/980/1/012073
- Tamunaidu, P., & Saka, S. (2011). Chemical characterization of various parts of nipa palm (*Nypa fruticans*). *Industrial Crops and Products*, 34(3), 1423-1428. doi:<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.04.020>
- Tanner, C. C. (1996). Plants for constructed wetland treatment systems — A comparison of the growth and nutrient uptake of eight emergent species. *Ecological Engineering*, 7(1), 59-83. doi:[https://doi.org/10.1016/0925-8574\(95\)00066-6](https://doi.org/10.1016/0925-8574(95)00066-6)
- Tilak, A., Wani, S., Patil, M., & Datta, A. (2016). Evaluating wastewater treatment efficiency of two field scale subsurface flow constructed wetlands. *Current Science*, 1764-1772.
- Tuhuloula, A., Budiarti, L., & Fitriana, E. N. (2013). Karakterisasi pektin dengan memanfaatkan limbah kulit pisang menggunakan metode ekstraksi. *Konversi*, 2(1), 21-27.
- Tutriyanti. (2017). *Sintesis dan Karakterisasi Membran Polisulfon dengan Teknik Inversi Fasa: Pengaruh Konsentrasi Impregnan KCl pada Koagulan terhadap Struktur Pori Membran*. (S-1 Skripsi/Tugas Akhir), Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru.
- Umair, S. (2006). *Environmental Impacts of Fiber Composite Materials: Study on Life Cycle Assessment of Materials used for Ship Superstructure*.
- Važić, T., Svirčev, Z., Dulić, T., Krstić, K., & Obreht, I. J. R. (2015). Potential for energy production from reed biomass in the

- Vojvodina region (north Serbia). *Renewablesustainable energy reviews*, 48, 670-680.
- Venkateshwaran, N., & Elayaperumal, A. (2010). Banana fiber reinforced polymer composites-a review. *Journal of Reinforced Plastics Composites*, 29(15), 2387-2396.
- Wang, L., Chen, Z., Wen, H., Cai, Z., He, C., Wang, Z., & Yan, W. (2018). Microwave assisted modification of activated carbons by organic acid ammoniums activation for enhanced adsorption of acid red 18. *Powder Technology*, 323, 230-237.
- Wang, L., Yan, W., He, C., Wen, H., Cai, Z., Wang, Z., . . . Liu, W. (2018). Microwave-assisted preparation of nitrogen-doped biochars by ammonium acetate activation for adsorption of acid red 18. *Applied Surface Science*, 433, 222-231.
- Wang, Z., Nie, E., Li, J., Zhao, Y., Luo, X., & Zheng, Z. (2011). Carbons prepared from *Spartina alterniflora* and its anaerobically digested residue by H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> activation: Characterization and adsorption of cadmium from aqueous solutions. *J Hazard Mater*, 188(1-3), 29-36.
- Wibisono, H. S., Jasni, J., & Arsyad, W. O. M. (2018). Komposisi Kimia dan Keawetan Alami Delapan Jenis Kayu di Bawah Naungan. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 36(1), 59-65.
- Witono, K., Irawan, Y. S., Soenoko, R., & Suryanto, H. (2014). Pengaruh perlakuan alkali (NaOH) terhadap morfologi dan kekuatan tarik serat mendong. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 4(3), 227-234.
- Xu, Q., Wang, L., Tan, M., Wang, X., Li, J., & Geng, H. (2022). Phosphorus removal from aqueous solution by adsorption using wetland-based biochar: Batch experiment *Green Processing and Synthesis*, 11(1), 555-562. doi:doi:10.1515/gps-2022-0046
- Yang, R. T. (2003). *Adsorbents: fundamentals and applications*: John Wiley & Sons.
- Yang, Y., Zhang, H., Wang, P., Zheng, Q., & Li, J. (2007). The influence of nano-sized TiO<sub>2</sub> fillers on the morphologies and properties of PSF UF membrane. *Journal of Membrane Science*, 288(1-2), 231-238.
- Yav, N. (2014). *Sarus Crane (Grus antigone) food selection and disturbance events in Anlung Pring Management and*

*Conservation Area for Sarus Crane and Other Birds in  
Kampong Trach district, Kampot Province.*

- Zaini, H., & Abubakar, S. (2017). Penyisihan Mangan (Ii) Dalam Air Limbah Dengan Metode Kolom Menggunakan Ampas Tebu Sebagai Adsorben. *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*.
- Zhang, L., Li, C. J., Zhou, D., Zhang, S. C., & Chen, J. M. (2013). Hydrothermal Liquefaction of Water Hyacinth: Product Distribution and Identification. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 35(14), 1349-1357. doi:10.1080/15567036.2012.677937

## **HALAMAN INDEX**

### **A**

Artificial, 30

Asimetrik, 14, 16, 21, 22, 23

### **B**

Biomacromolecules, 32

Bioreaktor, 26

### **C**

Capacitance deionization, 83

Casting, 35

Conventional thermal process, 33, 77, 80

Cross-flow, 16, 17

### **D**

Dead-end, 16

Densifikasi, 64, 74

Deposition, 35

Desalinasi, 69

Desorpsi, 67

Dialisis, 12

Difusifitas, 20, 94

Dipcoating, 9, 35, 36, 49, 51, 66, 69, 109, 50, 51, 35

Drainage, 35

Driving force, 17

### **E**

Edible film, 57

Eksterifikasi, 35

Electro dialysis, 83

Endothermic, 71

Esterifikasi, 34, 35

Eutectic, 74

Evaporation, 35

F

Fluks, 9, 10, 14, 23, 26, 31, 35, 38, 41, 47, 55, 64, 76, 77, 78, 79,  
80, 81, 91, 93, 94, 95, 100, 102, 103

Fluktuasi, 44

Flux, 43, 52, 54, 75, 76, 77, 85, 91

Forward osmosis, 83

Fouling, 26, 83, 84, 93, 96, 98, 115, 119, 120, 124

Fourier transform infra-red, 49, 50, 61

Fraksi, 45

G

Gas hydrates, 83

H

Hidrofilik, 19, 24, 45

Hidrofobik, 19, 45

Hidrolisis, 33, 34, 48, 58, 60, 89

Hybrid, 57, 60, 61, 83, 84, 110, 124, 126

I

Interlayer-free, 10, 41, 46, 94, 96, 98, 99, 101, 116, 118, 125

Isothermal, 74

K

Kalsinasi, 9, 37, 43, 47, 51, 53, 68, 71, 72, 73, 74, 77, 79, 80, 102,  
110

Kondensasi, 33, 49, 60

L

Liquefied, 50

## M

Macroporous, 50, 51

Matriks, 31, 38, 55, 60, 64, 65, 80, 103

Membran distilasi, 83

Mesoporous, 35

Microporous, 34

Molecular sieving, 24, 30, 31, 85

Morfologi, 7, 69, 70

## N

Nitrogen physisorption, 49, 50

Nukleofilik, 34

## O

Organometallic, 73

## P

Permeabilitas, 12, 15

Permeasi, 76

Permeat, 15, 16, 17, 24, 38, 47, 55, 75, 76, 91, 92, 93, 94, 95, 100,  
101, 102, 103

Pervaporasi, 10, 14, 20, 23, 24, 38, 41, 46, 52, 54, 55, 75, 79, 85,  
91, 92, 93, 96, 98, 99, 100, 101, 104, 109

Prekursor, 32, 33, 34, 52, 56, 60, 68, 69

Presipitasi, 56

## R

Rapid thermal processing, 38, 69, 119, 121, 125

Refluks, 50

Rejection, 41, 43, 47, 52, 54, 72, 75, 76, 77, 92

Rejeksi, 23

Retentat, 16

Reversible, 31

S

Scanning electron microscope, 50, 51

Semipermeabel, 75

Sol, 31, 33, 35, 36, 48, 49, 50, 51, 53, 57, 59, 60, 61, 62, 64, 69,  
109, 115, 120

Solubility, 20

Substrat, 35, 36, 37

Superhidrofobik, 28, 125

T

Teminal renal failure, 30

Template, 31, 116, 118, 126

Thermal gravimetric analysis, 65

Thermal stress, 38

Transfilik, 45

Trihalomethan, 46

V

Vapor, 75

Vapour compressor, 83

Versatile, 33

Viskositas, 21

Volatile, 24

X

Xerogel, 33, 37, 38, 49, 50, 51, 59, 60, 61, 66, 68

## Glosarium

Artificial: Dibuat-buat atau tiruan

Asimetrik: dalam bidang membran, asimetrik adalah membran yang terdiri dari lapisan tipis yang merupakan lapisan aktif dengan lapisan pendukung dibawahnya.

Biomacromolecules: senyawa organik yang dapat ditemukan dalam tubuh makhluk hidup. Pada umumnya biomolekul adalah senyawa yang berukuran relatif besar, sehingga beberapa jenis biomolekul termasuk makromolekul.

Bioreaktor: suatu alat atau sistem yang mendukung aktivitas agensia biologis. Dengan kata lain, sebuah bioreaktor adalah tempat berlangsungnya proses kimia yang melibatkan mikroorganisme atau enzim yang dihasilkan oleh suatu mikroorganisme.

Capacitance deionization: teknologi untuk mendeionisasi air dengan menerapkan perbedaan potensi listrik atas dua elektroda, yang sering terbuat dari karbon berpori.

Casting: Mencetak

Conventional thermal process:

Cross-flow: Metode penyaringan yang berkembang dengan pesat untuk saat ini dalam aplikasi dimana sistem dead-end tidak sesuai untuk diterapkan : untuk filtrasi partikel yang sangat halus dan filtrasi suspensi encer tanpa penambahan flokulan atau filter-aid, dalam kasus dimana dibutuhkan filtrat dengan kemurnian tinggi, ketika recovery solid tidak terlalu dibutuhkan.

Dead-end: larutan umpan dialirkan secara tegak lurus terhadap membran, akibatnya terjadi penumpukan komponen-komponen yang tertahan pada permukaan membran, sehingga mudah terjadi fouling dan mengakibatkan penurunan laju permeate.

Densifikasi: salah satu cara untuk memperbaiki sifat fisik suatu bahan yang bertujuan untuk mempermudah penggunaan dan pemanfaatannya, sehingga terjadi peningkatan efisiensi nilai bahan yang digunakan

Deposition: perubahan wujud suatu zat dari wujud gas berubah menjadi wujud padat

Desalinasi: menghilangkan kadar garam berlebih pada air untuk menghasilkan air yang dapat dikonsumsi manusia, hewan ataupun tumbuhan.

Desorpsi: pelepasan kembali ion/molekul yang telah berikatan dengan gugus aktif pada adsorben

Dialisis: proses perpindahan molekul terlarut dari suatu campuran larutan yang terjadi akibat difusi pada membran semi-permeabel

Difusivitas: peristiwa mengalirnya atau berpindahanya suatu zat dalam pelarut dari bagian berkonsentrasi tinggi ke bagian yang berkonsentrasi rendah.

Dipcoating: proses dimana sebuah substrat dicelupkan ke dalam larutan kemudian diangkat secara vertikal dengan kecepatan yang konstan

Driving force: daya penggerak

Edible film: lapisan tipis yang berfungsi sebagai pengemas/pelapis makanan sekaligus dapat dimakan bersama dengan produk yang dikemas.

Esterifikasi: reaksi substitusi asil nukleofil dengan katalisator asam.

Electro dialysis: proses pemisahan elektrokimia dimana spesi bermuatan dipindahkan dari suatu larutan ke larutan lain.

Endothermic: dalam kaidah pembahasan termodinamika menggambarkan suatu proses atau reaksi yang menyerap panas.

Eutectic: campuran senyawa kimia atau unsur-unsur yang memiliki komposisi kimia tunggal yang membeku pada suhu yang lebih rendah

Evaporation: proses perubahan molekul di dalam keadaan cair (contohnya air) dengan spontan menjadi gas (contohnya uap air).

Fluktuasi: Kata yang merujuk pada sifat tidak tetap atau berubah-ubah

Flux: banyaknya volume permeat yang dihasilkan per satuan luas dan waktu.

Forward osmosis: Proses membran osmotik dengan semipermeabel membran yang tidak sama dengan reverse osmosis (RO) tanpa menggunakan tekanan.

Fouling: deposit yang tidak diinginkan pada permukaan heat transfer yang menghambat proses perpindahan panas heat exchanger dan meningkatkan hambatan aliran fluida sehingga pressure drop menjadi lebih tinggi

Fourier transform infra-red: Pada dasarnya Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red (disingkat FTIR) adalah sama dengan Spektrofotometer Infra Red dispersi, yang membedakannya adalah pengembangan pada sistem optiknya sebelum berkas sinar infra merah melewati contoh.

Fraksi: salah satu cara yang digunakan untuk menjabarkan komposisi sebuah campuran dalam satuan tanpa dimensi (bentuk lainnya adalah fraksi mol).

Gas hydrates: zat kristal yang dikenal sebagai senyawa inklusi, dimana molekul gas terperangkap di dalam struktur padatan yang disusun oleh molekul air.

Hidrofilik: Zat yang dapat dilarutkan dalam air.

Hidrofobik: Hidrofobik diambil dari kata hidro (air) dan fobik (tidak suka).

Hidrolisis: merupakan proses dimana air digunakan untuk memutuskan ikatan pada suatu molekul.

Interlayer-free: Tanpa interlayer pada membran

Isothermal: proses perubahan keadaan termodinamika yang terjadi pada suhu konstan atau tetap

Kalsinasi: Proses pemanasan penghilangan kandungan air

Kondensasi: perubahan uap air atau benda gas menjadi benda cair pada suhu udara di bawah titik embun.

Macroporous: rongga atau pori yang lebih besar dari 50 nm

Membran distilasi: merupakan proses non-isotermal. Mekanisme utama perpindahan kalor yang terjadi pada distilasi membran adalah konduksi dan evaporasi.

Mesoporous: rongga atau pori yang ukurannya 2-50 nm

Microporous: rongga atau pori yang ukurannya kurang dari 2 nm

Molecular sieving: material berpori dengan ukuran yang seragam.

Rapid thermal processing:

Scanning electron microscope:

Semipermeabel: suatu jenis membran polimerik biologis atau sintetik, yang memungkinkan molekul atau ion tertentu untuk melewatinya

Solubility: suatu zat dalam suatu pelarut menyatakan jumlah maksimum suatu zat yang dapat larut dalam suatu pelarut.

Substrat:

Superhidrofobik:

Template: penyisipan suatu material ke dalam matriks membran

Thermal gravimetric analysis: disebabkan kegagalan pemisahan trunkus arteriosus, sehingga aorta keluar dari bagian anterior ventrikel kanan dan arteri pulmonal keluar dari ventrikel kiri.

Thermal stress: timbul akibat adanya perbedaan kecepatan pendinginan antara permukaan dan bagian dalam baja yang di quench.

Trihalomethan: senyawa organik derivat metan yang mana tiga buah atom hidrogennya diganti dengan atom halogen yaitu klor, brom

Vapor: uap

Vapour compressor: kompresor uap

Versatile: serba guna

Viskositas: kekentalan suatu larutan atau cairan atau fluida

Volatile: suatu senyawa yang mudah menguap

Xerogel: material silika yang telah dikeringkan

# TENTANG PENULIS

---



Muthia Elma memulai karirnya sebagai dosen di Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat (ULM) sejak 2002. Pendidikan sarjananya diperoleh dari Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau, kemudian melanjutkan program Pascasarjana di Ecole Des Mines De Nantes, Prancis. Selanjutnya gelar Doktor diperoleh dari School of Chemical Engineering the University of Queensland, Australia. Selain menjadi dosen, Muthia memiliki pengalaman bekerja di beberapa universitas, seperti: Universitas Riau dan di FIMLAB (Inorganic Laboratory and Film Laboratory), Chemical Engineering School, University of Queensland, Australia. Serta pernah bekerja di beberapa perusahaan seperti; Gaz de France - Prancis, PDAM Banjar - Kalimantan Selatan, dll. Selama mengajar di ULM, Muthia pernah menjabat sebagai Kepala Laboratorium Operasi Teknik, Laboratorium Teknologi Proses, Fakultas Teknik - ULM, Ketua Program Magister Teknik Kimia - FT – ULM dan saat ini sebagai Wakil Direktur Bidang Umum dan Keuangan Program Pascasarjana ULM. Muthia telah berhasil melakukan beberapa penelitian dan pengabdian kepada masyarakat baik dari dalam (DRPM, BRG) dan luar negeri (ANU, Australia Awards). Muthia juga telah menulis beberapa buku bahan ajar dan buku-buku tentang teknologi membran.

