

BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia menjadi salah satu negara penghasil sumber daya alam terbesar di dunia. Salah satu potensi kekayaan alam yang dihasilkan Indonesia adalah batubara. Sumber batubara Indonesia saat ini sebesar 126,60 miliar ton dengan cadangan tercatat sebanyak 32,26 miliar ton, terdiri dari cadangan terkira sebanyak 23,99 miliar ton dan terbukti sebanyak 8,27 miliar ton dengan lokasi yang tersebar di beberapa wilayah antara lain di Pulau Kalimantan yaitu sebesar 17,19 miliar ton (atau 56,31% dari total) dan 43,69% tersebar di Pulau Sumatera serta sisanya tersebar di Jawa, Maluku dan Papua (Suseno *et al.*, 2017). Sebagian besar batubara di Indonesia pada peringkat rendah atau lingite, yaitu terdiri dari 58%, sub-bituminus (27%); bituminus (14%); dan sedikit antrasit. Batubara peringkat rendah ini berciri tingginya kandungan jumlah air 20-40% dan rendahnya nilai bakar < 5000 kkal/kg(Djojonegoro, 1992).

Saat ini dengan tingkat produksi batubara di Indonesia mencapai 120 juta ton per tahun, diperkirakan batubara di Indonesia dapat diproduksi selama 41,43 tahun 2040(Purwadiet *al*, 2005). Pemanfaatan batubara di Indonesia tidak hanya sebagai bahan bakar bagi pembangkit tenaga listrik dan diekspor ke negara lain. Namun seiring perkembangan zaman penggunaan batubara semakin banyak digunakan untuk industri pabrik semen, industri tekstil dan lain sebagainya. Batubara dapat pula dipergunakan tidak hanya sebagai bahan bakar, tetapi juga dipergunakan sebagai reduktor pada proses peleburan timah, industri fero-nikel, industri besi dan baja, sebagai bahan pemurnian pada industri kimia (dalam bentuk karbon aktif), sebagai bahan pembuatan kalsium karbida (dalam bentuk kokas atau semikokas) (Sukandarrumidi, 1995).

Salah satu dampak dari proses penambangan batubara adalah timbulnya air asam tambang. Timbulnya air asam tambang memiliki dampak yang besar bagi kelestarian lingkungan maupun masyarakat sekitar baik secara langsung maupun tak langsung. Dampak negatif penambangan batubara berdampak rusaknya kondisi fisik lingkungan seperti rusaknya jalan yang digunakan untuk transportasi hasil tambang, pencemaran udara, air dan menimbulkan kebisingan di lokasi penambangan (Pertiwi, 2011). Dampak yang sering menjadi persoalan selama ini adalah air asam tambang dari proses tersingkapnya batuan sulfida yang kaya akan *pyrite* dan mineral sulfida lainnya yang bereaksi dengan air dan udara. Air asam tambang dapat terbentuk secara alamiah dimanapun pada setiap kondisi yang cocok (Nurisman E, 2012).

Air asam tambang dapat terbentuk karena air yang terbentuk akibat tersingkapnya keluar kegiatan pertambangan terbuka maupun tertutup (bawah tanah) dimana terjadi reaksi antara air, oksigen, dan batuan-batuan yang mengandung mineral-mineral sulfida sehingga menyebabkan terjadinya air asam tambang (Subriyer Nasiret *al.*, 2014). Air asam tambang mempunyai pH yang rendah yang merupakan kondisi yang dibutuhkan oleh bakteri *acidophilic* misalnya *Thiobacillus Ferroxidans* berperan dalam mengoksidasi ion ferro. Secara alami di dalam air asam tambang akan berkembang bakteri *Thiobacillus ferrooksidans* yang berperan sebagai katalis pembentukan air asam tambang tersebut. Air asam tambang yang telah mengalami proses reaksi kimia akan berdampak langsung pada kualitas tanah dan air tanah karena pH air dan tanah di area tersebut menurun sangat tajam (Ashari *et al.*, 2015). Salah satu dampak negatif yang signifikan akibat terjadinya pencemaran air dari asam tambang dapat mengakibatkan penurunan nilai fungsi lingkungan hidup dan ekosistem sekitarnya seperti pada komponen air dan tanah (Down, C.G. *et al.*, 1978). Air asam tambang dapat diketahui dari warna jingga atau merah yang berasal dari

endapan besi hidroksida (*ferrihidroksida*) didasar aliran atau adanya bau belerang atau berwarna hijau kebiruan karena mengandung tembaga yang cukup tinggi (Wijaya, 2010).

Air dari kolam bekas industri tambang batubara pada konsentrasi tertentu apabila tidak diolah dapat membahayakan lingkungan. Menurut Gautama, (2014), air tambang merupakan air yang berasal dari penyaluran tambang (*mine drainage*) yang berpotensi mencemari badan perairanyang berdampak terhadap kehidupan ekosistem air permukaan. Dengan demikian perlu dilakukan sebuah pengolahan yang lebih baik. Pada dasarnya pengolahan limbah air dari kolam bekas tambang batubara ada dua macam proses yang dikenal saat ini yaitu proses pengolahan aktif dan proses pengolahan pasif (Watzlaf, 2004). Proses pengolahan aktif merujuk kepada teknologi yang dioperasikan manusia dengan perawatan dan monitoring berdasarkan sumber energi dari luar. Beberapa contoh proses pengolahan aktif adalah aerasi, netralisasi, pengendapan secara kimia, proses membran, pertukaran ion dan penghilangan sulfat secara biologi. Proses pengolahan pasif adalah pengolahan yang tidak membutuhkan intervensi manusia secara reguler, baik pengoperasian maupun perawatannya(Watzlaf, 2004).

Seiring dengan perkembangam teknologi,teknik atau metode penanganan air asam tambang maupun air limbah telah dikembangkan dengan metode membran, salah satunya adalah untuk pengolahan limbah cair tahu dengan menggunakan membran nanofiltrasi silika aliran *cross flow* untuk menurunkan kadar nitrat dan ammonium (Puspayana *et al.*, 2013). Selain itu teknologi membran nanofiltrasi juga dapat menurunkan biaya produksi dan meningkatkan mutu produk gula karena membran ini mampu memisahkan komponen pengotor nira yang ukurannya lebih besar dari pada ukuran pori membran, seperti protein, pati, dekstran, lilin, dan klorofi (Peters, 2010). Membran juga dapat digunakan dalam sistem *hybrid* ketika dikombinasikan dengan sistem

pengolahan kimia konvensional untuk memekatkan *sludge* (firmansyah Agil Saputra, 2016). Penggunaan membran selulosa asetat menggunakan sistem aliran *cross-flow* untuk mengolah limbah cair emulsi minyak yang berasal dari industriomotif pada bagian pemotongan logam pada proses *pretreatment* memberikan keuntungan dalam peningkatan fluks dan kualitas permeat yang lebih baik (Notodarmojo Suprihanto *et al.*, 2004).

Selain itu keunggulan proses membran dibandingkan proses pemisahan lainnya adalah tidak memerlukan perubahan fase medium, proses berlangsung cepat, cara pengoperasian sederhana, mudah dalam penggandaan skala, tidak memerlukan ruang yang besar, dan dapat mendapatkan permeat dengan kualitas sangat baik (Hughes, 1992). Pengolahan limbah cair bekas tambang menggunakan teknologi membran dianggap paling efektif dan sudah mulai dilakukan untuk penghilangan kontaminan logam berat maupun bahan organik yang berbahaya bagi lingkungan (Abdel *et al.*, 2017; Yildirim *et al.*, 2019; Kyllonen *et al.*, 2017; Sivakumar *et al.*, 2013).

Beberapa metode yang sering digunakan dalam pengolahan limbah cair industri selama ini memiliki beberapa kelemahan. Kelemahan tersebut membutuhkan biaya yang mahal, lokasi yang luas dan penggunaan bahan kimia yang cukup besar. Untuk itu diperlukan teknologi pemurnian yang dilakukan dengan menggunakan teknologi membran. Oleh karena itu pada penelitian pemanenan air dari kolam bekas industri batubara diperlukan teknologi membran agar air kolam bekas industri batubara dapat digunakan kembali oleh masyarakat sekitar untuk kebutuhan air bersih bahkan air minum.

Pemanfaatan lubang bekas tambang telah dilakukan pada penambangan timah di Pulau Bangka merupakan contoh kegiatan penambangan mineral yang meninggalkan lubang bekas

tambang. Menurut Freddy A Hariratri, (2001) secara keseluruhan kualitas air kolam bekas tambang dapat dijadikan pemeliharaan ikan tawar. Penelitian pemanfaatan air asam tambang menjadi air bersih juga telah dilakukan (Said, 2014; Arvina, 2018; Abdel *et al.*, 2017; Yildirim *et al.*, 2019; Kyllonen *et al.*, 2017). Berdasarkan dokumen AMDAL (2009), rona akhir tambang akan meninggalkan wilayah dengan bentang alam yang bervariasi, yaitu mulai dari area yang ditimbun sehingga membentuk topografi bukit kecil hingga area dengan elevasi rendah berupa lubang bekas tambang (*void*). Kajian pemanfaatan kolam bekas tambang batubara sebagai salah satu rona akhir mengakomodasi pemanfaatan secara sosial, ekonomi, dan lingkungan (Nurchayani, 2011) Lubang-lubang raksasa bekas penambangan batubara ketika musim penghujan akan menjadi penampungan air hujan. Sehingga kolam tambang batubara ini akan membentuk seperti danau buatan yang menampung air hujan. Air dalam kolam bekas tambang yang bersifat asam perlu dilakukan pengilahan agar tidak mencemari lingkungan. Bahkan air kolam bekas tambang ini juga dapat dimanfaatkan untuk cadangan air masa depan secara berkelanjutan.

Kebutuhan air dari tahun ke tahun semakin meningkat, baik untuk kebutuhan domestik ataupun kebutuhan industri. Semakin meningkatnya populasi penduduk dan laju pertumbuhan industri maka ketersediaan sumber-sumber air semakin berkurang karena diakibatkan oleh pencemaran dan kerusakan lingkungan sehingga dampak kedepan adalah krisis air (I. G. Wenten, 2005). Solusi untuk mengatasi krisis air bersih ini adalah dengan melakukan pengolahan air. Dahulu, pengolahan air dilakukan secara konvensional seperti koagulasi, flokulasi, sedimentasi dan filtrasi. Saat ini pengolahan air dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi membran (khususnya nanofiltrasi dan/atau reverse osmosis) (Anne Braghetta, 1997).

Proses pengolahan dengan membran nanofiltrasi dapat dioperasikan dengan biayadan energi rendah, investasi rendah dan juga biaya perawatan yang rendah (Hilal *et al.*, 2004). Dengan demikian, proses pengolahan air dengan membran khususnya nanofiltrasi memiliki *cost*/biaya yang murah dibanding dengan proses pengolahan lainnya.

Penelitian tentang pemanenan air kolam tambag bekas industri tambang batubara menggunakan teknologi membran NF270 belum pernah dilakukan dan ditemukan dalam publikasi ilmiah.

B. Perumusan Masalah

Penggunaan teknologi membran untuk pemanenan air dari kolam bekas industri batubara belum banyak diteliti. Dari kajian di atas hampir sebagian besar penelitian masih diprioritaskan pada penambahan bahan kimia untuk penghilangan keasaman, zat warna, COD, BOD dan logam beratlainnya. Karakteristik air limbah cair yang didominasi oleh padatan terlarut dan padatan tersuspensi tinggi maka teknologi pengolahan yang tepat biasanya menggunakan pengolahan secara fisik kimia yang dilengkapi dengan unit pengendapan kimia menggunakan koagulan dan flokulan (Kristanto, 2004).

Pengolahan limbah cair secara kimia biasanya dilakukan untuk menghilangkan partikel-partikel yang tidak mudah mengendap (koloid), logam-logam berat, senyawa phosphor dan zat organik beracun. Prinsip dari pengolahan kimia adalah dengan memisahkan bahan pencemar atau dikonversi dengan cara menambah bahan kimia (Moesidik, 1995).

Untuk pemanenan air dari kolam bekas industri batubarabelum banyak dilakukan dengan menggunakan metode teknik membrane nanofiltrasi NF270. Metode ini dipandang lebih efektif, murah tidak membutuhkan bahan koogulan, tempat yang luas, dan lebih ramah lingkungan.

Penelitian pemanenan air dari kolam bekas industri batubara lebih menekankan pada metode rekayasa yang lebih sederhana. Pengolahan limbah asam batubara selama ini banyak menggunakan tanah lempung, membutuhkan lokasi yang luas, dan kurang efektif disamping itu juga membutuhkan biaya yang sangat mahal. Proses pengolahan limbah cair asam batubara yang efektif adalah sebuah proses yang dapat mengurangi dan menghilangkan kadar pencemar dan menguntungkan secara ekonomis. Instalasi pengolahan limbah cair dikatakan efektif apabila hasil pengolahan limbahnya memenuhi baku mutu yang disyaratkan untuk kegiatan tersebut dan biaya pengolahan yang ekonomis (Wenten, 2015).

Perkembangan teknologi membran sebagai unit pengolahan limbah cair saat ini sangat pesat dan banyak digunakan dalam proses pemisahan. Operasi membran dapat diartikan sebagai proses pemisahan dua atau lebih komponen dari aliran fluida melalui suatu membran. Membran berfungsi sebagai penghalang (*barrier*) tipis yang sangat selektif diantara dua fasa, hanya dapat melewatkan komponen tertentu dan menahan komponen lain dari suatu aliran fluida yang dilewatkan melalui membran (Mulder *et al.*, 1996).

Dalam aplikasinya untuk proses pemisahan, pemurnian dan pemekatan, teknologi membran mempunyai berbagai keunggulan dibandingkan metoda pemisahan yang konvensional, diantaranya proses dapat dilakukan secara kontinyu, tidak memerlukan zat kimia tambahan, konsumsi energi rendah, pemisahan dapat dilakukan pada kondisi yang mudah diciptakan, dapat dilangsungkan pada temperatur rendah sehingga dapat digunakan untuk pemisahan senyawa yang tidak tahan temperatur tinggi, mudah dalam *scale up*, tidak membutuhkan kondisi yang ekstrim (pH dan temperatur), material membran bervariasi sehingga mudah diadaptasikan pemakaiannya dan mudah dikombinasikan dengan proses pemisahan lainnya (Mulder, 1991).

Pengolahan limbah cair asam batubara adalah upaya untuk memperbaiki kualitas air yang memenuhi baku mutu yang ditetapkan (Fitriyanti, 2015). Air asam tambang terjadi karena penumpukan batubara sebagai akibat proses perliindian (*leaching*) yang terjadi oleh air hujan terhadap permukaan batubara atau membentuk larutan (*leachate*) yang bersifat asam yang dapat memberikan polusi terhadap perairan (Sukandarrumidi, 1995).

Dalam proses pengolahan air limbah asam tambang menjadi air bersih, diperlukan pengolahan yang memenuhi standar kualitas yang baik, agar produk yang dihasilkan berkualitas tinggi dan tidak membahayakan kesehatan manusia. Pengolahan limbah asam tambang yang sudah diterapkan di Indonesia berupa pengolahan konvensional yang terdiri dari koagulasi-flokulasi, Sedimentasi dan Filtrasi. Akan tetapi pengolahan konvensional ini memiliki keterbatasan seperti membutuhkan luas lahan besar, operasional dan perawatan yang rumit hingga kualitas air yang masih dibawah standar. Teknologi ini merupakan teknologi bersih yang ramah lingkungan karena tidak menimbulkan dampak yang buruk bagi lingkungan. Teknologi membran ini dapat mengurangi senyawa organik dan anorganik yang berada dalam air tanpa adanya penggunaan bahan kimia dalam pengoperasiannya (Wenten,2002). Inovasi baru yang akan dilakukan yaitu memodifikasi pengolahan secara konvensional (Koagulasi-Flokulasi-Sedimentasi) dengan teknologi membran untuk mendapatkan air olahan dengan kualitas yang jauh lebih baik bahkan dapat langsung digunakan kembali oleh masyarakat sekitar tambang.

Penelitian pengolahan air asam tambang batubara ini dilakukan di Aceh Barat, Sumatera Selatan dan Kalimantan Selatan. Berbagai penelitian tentang pengolahan limbah cair industri tambang batubara telah dilakukan. Penelitian ini mencoba menemukan metode baru untuk pemanenan air dari kolam bekas industri tambang batubara dengan menggunakan teknik membran. Metode ini

merupakan metode yang efektif, selektif, ekonomis, bebas polutan dan sangat sesuai untuk menghancurkan senyawa-senyawa organik dan anorganik. pemanenan air dari kolam bekas industri batubara dengan metode teknik membran nanofiltrasi belum banyak dilakukan. Orisinalitas (novelty) penelitian ini dibandingkan dengan penelitian lain adalah terletak pada metode pemanenan air dari kolam bekas industri batubara dan analisis parameter karakteristik asam batubara. Pengolahan teknologi membran NF270 merupakan teknologi terbaik dalam pengolahan air asam tambang yang mempunyai kandungan logam berat tinggi dan nilai pH yang rendah atau asam.

C. Pertanyaan Penelitian

Pertanyaan penelitian terkait dengan kinerja pengolahan limbah cair asam batubara dengan teknik membran sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi tekanan operasi pada membran nanofiltrasi NF270 terhadap fluks dan tingkat rejeksi COD, TSS, COD, dan kandungan ion logam Fe dan Mn pada umpan air asam tambang sintetik, dan berapa tekanan operasi optimumnya?
2. Bagaimana perbandingan tingkat rejeksi air asam tambang batubara sintetik dan air asam tambang batubara asli dengan menggunakan variasi tekanan operasi yang berbeda?
3. Bagaimana hasil pengolahan air asam tambang batubara menggunakan membrane nanofiltrasi NF270 jika dibandingkan dengan Kepmenkes No. 907/MENKES/SK/VII/2002?
4. Bagaimana teknologi membran nanofiltrasi ini memberikan manfaat terhadap pembangunan berkelanjutan?

D. Tujuan Penelitian

1. Tujuan Umum

Menganalisis teknologi membran nanofiltrasi NF270 dalam mengolah air limbah asam batubara di kolam bekas Industri tambang Batubara.

2. Tujuan Khusus

1. Untuk menganalisis pengaruh variasi tekanan operasi pada membran nanofiltrasi NF 270 terhadap fluks dan tingkat rejeksi COD, TSS, TDS dan kandungan logam Fe, Mn pada umpan air asam tambang sintetik dan menentukan tekanan optimumnya.
2. Membandingkan tingkat rejeksi air asam tambang batubara sintetik dan air asam tambang batubara dengan menggunakan variasi tekanan operasi.
3. Membandingkan tingkat rejeksi hasil pengolahan air di kolam tambang batubara menggunakan membran nanofiltrasi NF 270 dengan Kepmenkes No. 907/MENKES/SK/VII/2002
4. Mengkaji teknologi membran nanofiltrasi NF270 pada pemanfaatan lubang bekas tambang (*void*) terhadap pembangunan berkelanjutan.

E. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Keilmuan

- a. Secara efektif membran Nanofiltrasi NF270 dapat memberikan data-data teknis yang dimanfaatkan dalam mengolah air kolam tambang batubara.mengolah air kolam tambang batubara .
- b. Dapat memberikan suatu referensi ilmiah tentang teknologi pemanenan air dari kolam bekas industri tambang batubara yang murah dan efisien.
- c. Sebagai terobosan teknologi tepat guna pemanenan air dari kolam bekas industri yang dapat dijadikan sebagai Iptek dalam pemenuhan air bersih berbasis masyarakat.

- d. Sebagai pengembangan model teknologi pengolahan air asam tambang batubara dan pengembangan pengolahan limbah lainnya.
- e. Dalam kasus-kasus umpan air yang memiliki beragam kontaminan, teknologi membran secara ekonomis lebih unggul dibandingkan dengan metode pemurnian air yang lain

2. Manfaat Praktis

- a. Sebagai terobosan teknologi tepat guna pemanenan air dari kolam bekas industri yang dapat dijadikan sebagai Iptek dalam pemenuhan air bersih berbasis masyarakat.
- b. Sebagai pengembangan model teknologi murah, efektif dan efisien dalam pengolahan limbah cair lainnya.
- c. Teknologi membran secara ekonomis lebih unggul dibandingkan dengan metode pemurnian air yang lain.

F. Orisinalitas Penelitian

Air limbah sering menimbulkan pencemaran yang terjadi karena adanya zat, energi, makhluk hidup, atau komponen lain dalam air limbah asam batubara mengakibatkan lingkungan tidak dapat atau kurang berfungsi sesuai dengan peruntukannya. Terjadinya pencemaran lingkungan baik terhadap sumber-sumber air, kesehatan masyarakat atau kerusakan lain mungkin ditimbulkan oleh limbah cair (Moesidik, 1995). Pengolahan limbah asam tambang banyak dilakukan dengan proses penetralan dengan menggunakan kapur tohor pada uji lapangan pada saluran inlet, kolam pengendap lumpur lebih efektif dan efisien dibandingkan penggunaannya pada saluran *outlet* (Nurisman, E 2012). Sedangkan sistem proses lumpur aktif konvensional sangat bergantung pada gaya gravitasi lumpur pada *secondary clarifier*, namun dalam *plant* pengolahan limbah yang sebenarnya, proses pengendapan lumpur tidak mudah untuk

dikendalikan (Yakobus Ahmus Mufti, 2016). Ada juga pengolahan asam batubara dengan pemasangan sistem pipa apung pada *coal run off pond*, pipa apung terhubung oleh pompa yang berada pada *pump pit* didapatkan hasil pada *waste water treatment plant (WWTP) Retention basin* adalah 475 mg/liter (Ardiansyah, 2013).

Penelitian Reno Fitriyanti (2015), menunjukkan tahapan proses pengelolaan limbah cair *stockpile* batubara yang memiliki kandungan TSS yang tinggi tersebut berlangsung melalui proses koagulasi dan netralisasi. Agar proses pengolahan limbah berlangsung efektif dan efisien, maka tahapan pengolahan limbah disarankan melalui proses koagulasi dan flokulasi disertai pengadukan, sedimentasi dan netralisasi (Rosyida, 2011).

Namun, koagulan pada unit pengolahan air limbah batubara yang dihasilkan oleh koagulan tawas dan *Poly Aluminium Chloride (PAC)* bersifat tidak stabil sebab endapan yang dihasilkan memiliki ukuran partikel yang kecil, sehingga mudah mengalami gangguan dan dibutuhkan waktu yang cukup lama lagi untuk mengendap (Gozan *et al.*, 2006). Usaha untuk menetralsir air asam tambang banyak dilakukan di antaranya dengan menggunakan lignit sebagai adsorben (Mohan & Chander, 2006), *fly-ash*, *clinker*, dan zeolit sintesis (Rios, *et-al.*, 2008), elektrokimia (Luptakova, *et-al.*, 2012) dan metoda yang relatif baru untuk mengolah air asam tambang adalah dengan cara elektrodialisa (Buzzi *et al.*, 2013).

Seiring dengan perkembangan metode elektrodialisa membutuhkan tempat yang luas dan limbah lumpur yang besar. Pengolahan limbah cair batubara sekarang ini banyak berkembang dengan berbagai teknik atau metode penanggulangan di antaranya adalah teknologi membran. Teknologi membran berhasil digunakan untuk tujuan yang berbeda dan untuk berbagai macam

aplikasi dalam bidang pengolahan dan pemurnian air limbah. Penting untuk dicatat bahwa air limbah yang dihasilkan perlu dilakukan pretreatment (Peters, 2010).

Penggabungan *Ultrafiltrasi* (UF) dan *Reverse Osmosis* (RO) untuk mengolah air asam dari tambang tembaga menyimpulkan bahwa kombinasi *Ultrafiltrasi*(UF) dengan *Reverse Osmosis* (RO) cukup efektif untuk menghilangkan suspended solid, bakteri dan koloid sehingga *Ultrafiltrasi*(UF) dapat digunakan untuk menyiapkan air umpan *Reverse Osmosis* (RO) dengan *Silt Density Index* (SDI) dan turbidity rendah(Shao *et al.*, 2009)

Membran juga mampu untuk menghapus berbagai zat biologis dan non-biologis dari suspensi berair. Membran juga sangat baik untuk aplikasi teknologi dalam air dan pengolahan air limbah industri (Madaeni, 1999). Menurut Cheryan dan Rajagopalan (1998), membran memiliki beberapa kelebihan untuk mengolah limbah cair berminyak.

Dalam penelitian ini, peneliti mencoba menemukan metode baru untuk pemanenan air dari kolam bekas industri batubara dengan menggunakan teknik membran. Metode ini merupakan metode yang efektif, selektif, ekonomis, bebas polutan dan sangat sesuai untuk menghancurkan senyawa-senyawa organik dan anorganik. Pemanenan air dari kolam bekas penambangan batubara menggunakan membran nanofiltrasi 270 belum pernah dilakukan. Membran nanofiltrasi NF270 merupakan gabungan dari ultrafiltrasi dan *reverse osmosis* untuk menghilangkan berbagai jenis logam berat yang terkandung dalam limbah cair asam batubara. Orisinalitas penelitian ini dibandingkan dengan penelitian lain adalah terletak pada penggunaan membran nanofiltrasi 270 yang selama ini belum digunakan dalam pengolahan air asam tambang batubara menjadi air minum/air bersih. Keterbaruannya yang lain untuk pengolahan air kolam bekas tambang batubara untuk di Provinsi Aceh, Sumatera Selatan dan Kalimantan Selatan

belum pernah diaplikasikan dengan metode pemanenan air dari kolam bekas industri batubara menjadi air minum menggunakan teknologi membran nanofiltrasi NF270. Berbagai penelitian yang berkaitan tentang karakteristik dan pengolahan air limbah menggunakan teknologi membran nanofiltrasi disajikan pada tabel 1.

Tabel 1.1 Penelitian Terdahulu

Peneliti	Judul	Sumber dan Tahun	Kesimpulan
Kiswanto, Heru Susanto, Sudarno	Treatment Of Coal Mine Acid Water Using Nf270 Membrane As Environmentally Friendly Technology ,	JPII 9 (3) (2020) 439-450 DOI: 10.15294/jpii.v9i3.23310	Membran NF 270 dapat menyisihkan COD, TSS, TDS, dan Fe masing-masing sebesar 56,4-93,1%, 78,5-100%, 43-69,3%, 67-100%. Semua hasil rejeksi sesuai baku mutu memenuhi standar Kementerian Indonesia Peraturan Kesehatan. (2010). Menteri Kesehatan Peraturan Nomor 492 / MENKES / PER /IV / 2010 tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Menteri Kesehatan. Jakarta. Dengan demikian, teknologi membran NF270 bisa digunakan untuk mengolah air asam tambang batubara menjadi air minum yang ramah lingkungan.
Kiswanto, Heru Susanto, Sudarno	Characterization Of Coal Acid Water In Void Pools Of Coal Mining In South Kalimantan	E3S Web of Conferences 73, 05030 ICENIS 2018 https://doi.org/10.1051/e3sconf/20187305030	Air asam pada kolam bekas tambangbatubara Di Kalimantan Selatan memiliki nilai pH tertinggi sebesar 4.01, suhu tertinggi sebesar 33.9°C, warna tertinggi sebesar 3.01 Pt-Co, COD tertinggi sebesar 56,50 mg/l, BOD tertinggi sebesar 20.34 mg/l, DHL tertinggi sebesar 1, TSS tertinggi sebesar 652.67 mg/l, Fe tertinggi sebesar 9.46 mg/l, Mn tertinggi sebesar 1.72 mg/l dan kandungan Cd masih dibawah baku mutu yang ditetapkan kurang dari 0,01 mg/l.
Kiswanto, Heru Susanto,	Karakteristik Air Asam Batubara Di Kolam Bekas	Seminar dan Konferensi Nasional IDEC 2018 Surakarta, 7-8 Mei 2018	Air asam tambang batubara di kolam bekas tambang dari hasil karakterisasi memilikikandungan total padatan

Sudarno	Tambang Batubara Bukit Asam (PTBA)	ISSN: 2579-6429	tersuspensi (TSS) tertinggi sebesar 111534 mg/l, pH tertinggi 4.0, Fe dan mangan Mn tertinggi pada air asam tambang masing-masing sebesar 9,46 mg/l dan 2,276 mg/l.
Kiswanto, Laila Nur Rahayu, Wintah	Pengolahan Limbah Cair Batik Menggunakan Teknologi Membran Nanofiltrasi Di Kota Pekalongan	Jurnal Litbang Kota Pekalongan Vol. 17 Tahun 2019	Membran NF270 terbukti mampu menyisihkan zat warna, COD, BOD, TSS dan logam Pb hasil rejeksi berturut-turut sebesar (98,29%-99,87%), (92,10-100%), (100%), (99,25-100%), (95,25-100%)
Tria Christy F, Heru Susanto, Sudarno	Pengolahan Limbah Lindi Menggunakan Membran Nanofiltrasi Nf270	Jurnal Teknik Lingkungan, Vol 4, No 4 (2015)	NF270 mampu menyisihkan COD, TSS, TDS, dan Logam Fe sebesar 93,86 – 95,40%, 100%, 41,04 – 61,56%, dan 100%. Semua tingkat rejeksi menghasilkan kualitas permeat yang memenuhi Baku Mutu Perda Jateng No. 5 Tahun 2012 untuk parameter COD, TSS, dan Fe. Sedangkan untuk TDS tingkat rejeksi yang memenuhi baku mutu hanya pada tekanan 6 bar
Resty Mustika Maharani, Alia Damayanti	Pengolahan Limbah Cair Rumah Makan Menggunakan Membran Nanofiltrasi Silika Aliran Cross Flow untuk Menurunkan Fosfat dan Amonium	Jurnal Teknik Pomits Vol. 2, No. 2, (2013) Issn: 2337-3539 (2301-9271)	Koefisien Rejeksi amonium paling tinggi sebesar 91,04% dan koefisien rejeksi fosfat paling tinggi sebesar 59,54% nilai tersebut dihasilkan oleh membran 28,7%wt dengan variasi 100% konsentrasi 3,52 mg/l fosfat atau 140,084 mg/l amonium. Nilai fluks rata-rata tertinggi dihasilkan membran 8 gram (39wt%) dengan variasi volume 25% konsentrasi limbah 2,79 mg/l fosfat atau 37,17 mg/l amonium yaitu 3,91 L/m ² .Jam.
Y. Yildirim,, A. K. Topaloğlu, M. Ince and M. N. Kajama	The Use Of NF And RO Membrane System For Reclamation And Recycling Of Wastewaters Generated From a Hard Coal Mining	Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH) Vol. 38, No. 4, October 2019, pp. 1048 – 1055 http://dx.doi.org/10.4314/njt.v38i4.30	Air limbah penambangan batubara yang diolah menggunakan membrane NF/RO menunjukkan kinerja pengolahan terbaik, memberikan produk air tersebut memiliki spesifikasi kualitas air minum bersih yang memenuhi standar WHO. Singkatnya, menggunakan sistem membran NF dan RO, air limbah yang dihasilkan dari penambangan batubara

			dapat diolah untuk menghasilkan limbah berkualitas tinggi bersama dengan konsumsi energi yang rendah dan mengurangi penggunaan bahan kimia.
Pei Xua, J'org E. Drewesa, Tae-Uk Kim, Christopher Bellona , Gary Amyc	Effect Of Membrane Fouling On Transport Of Organic Contaminants In Nanofiltrasi/RO Membrane Applications	Journal of Membrane Science 279 (2006) 165–175 Doi:10.1016/j.memsci.2 005.12.001	Penelitian ini menguji efek dari fouling membran Nanofiltrasi/RO terhadap rejeksi kontaminan Membran poliamida mencapai tingkat hidrofobik menengah setelah fouling. Perubahan besar karakteristik permukaan membran sehubungan dengan hidrofobisitas membran, muatan permukaan, dan morfologi permukaan mengakibatkan perubahan permeasi kontaminandibandingkan dengan fresh membran. Lapisan fouling membran mengisolasi interaksi antara membran dan zat terlarut sehingga menghasilkan lebih sedikit partisi zat terlarut dan menyebar di seluruh membran. Walaupun fouling membran adalah proses yang sangat kompleks dan karakteristik foulant dipengaruhi oleh komposisi air umpan, kimia air, kondisi hidrodinamik, dan sifat Fresh membran.
Verliefde, E.R. Cornelissen, S.G.J. Heijmana, J.Q.J.C. Verberka, G.L. Amy, B. Van der Bruggen, J.C. van Dijk	The Role Of Electrostatic Interactions On The Rejection Of Organic Solutes In Aqueous Solutions With Nanofiltration	Journal of Membrane Science 322 (2008) 52– 66 Doi:10.1016/j.memsci.2 008.05.022	Efek interaksi elektrostatik pada rejeksi zat organik terlarut dengan membran nanofiltrasi hasilnya; dua membran yang berbeda, rejekiterhadap asam organik terpilih hasilnya kekuatan ion yang berbeda dan kondisi pH, dengan dan tanpa kehadiran bahan organik alami dan kation divalen. Disimpulkan bahwa untuk membran bermuatan negatif, elektrostatik menyebabkan peningkatan rejeksi zat terlarut bermuatan negatif. Sedangkan zat terlarut bermuatan negatif tidak terlibat dalam interaksi hidrofobik karena mereka tidak dapat mendekati permukaan membran. Ini memberikan bukti untuk teori peningkatan konsentrasi zat terlarut organik bermuatan positif dan penurunan

			konsentrasi zat terlarut organik bermuatan negatif.
Liikanen, Riina, Kiuru, Heikki, Peuravuori, Juhani, Nyström, Marianne	Nanofiltration Flux, Fouling And Retention In Filtering Dilute Model Waters	Jounal Desalination 175 (2005) 97-109 Doi: 10.1016/j.desal.2004.08.043	Fouling membran mengurangi penyerapan proses nanofiltrasi (NF), Tidak ada perbedaan yang terlihat dalam penurunan fluks membran ketika menyaring air umpam yang mengandung senyawa organik dengan karakteristik berbeda. Namun, bahan organik yang mengandung umpam menghasilkan fluks yang jauh lebih rendah daripada ion logam. Penurunan fluks terlihat ketika bahan organik dan ion logam, terutama silika, ada dalam air umpam. Peningkatan konsentrasi bahan organik umpam air meningkatkan retensi bahan organik, tetapi penambahan ion logam dalam larutan organik menyebabkan penurunan retensi bahan organik dan konduktivitas. Perilaku yang berbeda kemungkinan besar disebabkan oleh perbedaan dalam lapisan fouling dan karakteristik foulant serta oleh efek electroneutrality. Secara umum, sulit untuk mengubah komposisi air umpam menjadi non-fouling, tetapi pH operasi dapat digunakan sampai batas tertentu dalam mengoptimalkan kinerja membran.
Mulyanti, Susanto	Wastewater Treatment By Nanofiltration Membranes	IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 142(2018) 012017 doi :10.1088/1755-1315/142/1/012017	Karakteristik NF yang berada di antara UF dan RO memerlukan energi yang rendah dan selektivitas yang jauh lebih baik. Kinerja NF juga ditentukan oleh karakteristik membran dan umpam, serta kondisi operasi. Proses pemisahan dengan teknologi membran, terutama NF, memiliki prospek yang cerah dalam pengolahan air limbah.
Kedang, Yohana Ivana	Membran Nanofiltrasi untuk Aplikasi Pemisah Zat	Jurnal Saintek LahanKering (2019) Volume 2 27-29 https://doi.org/10.32938/slk.v2i1.444	Mekanisme pemisahan nanofiltrasi sebagian besar didasarkan pada ukuran dan perbedaan tingkat difusi untuk molekul organik dan efek elektrostatik untuk ion. Namun, karena molekul yang tidak bermuatan lebih banyak,

			<p>mekanisme berdasarkan ukuran molekul lebih banyak digunakan. Membran nanofiltrasi beroperasi tanpa perubahan fasa dan biasanya memiliki penolakan tinggi terhadap garam anorganik multivalen dan molekul organik kecil pada tekanan sedang. Membran nanofiltrasi telah diaplikasikan di berbagai sektor industri yaitu penghilangan zat warna, pengolahan air limbah, proses farmasi dan bioteknologi, serta rekayasa pangan.</p>
<p>Agenson, Urase, Kenneth O. Urase, Taro</p>	<p>Change In Membrane Performance Due To Organic Fouling In Nanofiltration (NF)/Reverse Osmosis (RO) Applications</p>	<p>Separation and Purification Technology 55 (2007) 147–156 Doi:10.1016/j.seppur.2006.11.010</p>	<p>Kinerja membran Nanofiltrasi dikarenakan adanya foulant: pertama, penurunan rejeksi zat terlarut MW tinggi menghasilkan konsentrasi permeat yang lebih tinggi dari zat terlarut. Kedua, peningkatan rejeksi zat terlarut MW rendah disebabkan oleh efek dari pori-pori yang lebih sempit yang menghasilkan eksklusi ukuran yang lebih dominan. Secara keseluruhan, mekanisme penghilangan tergantung pada jenis zat terlarut tetapi sebagian besar melibatkan pengayakan, difusi dan interaksi zat terlarut membran lainnya oleh polimer.</p>
<p>Radjenović, J. Petrović, M. Ventura, F. Barceló, D.</p>	<p>Rejection Of Pharmaceuticals In Nanofiltration And Reverse Osmosis Membrane Drinking Water Treatment</p>	<p>Water Research (2008) Volume : 42 page 3601-3610 Doi:10.1016/j.watres.2008.05.020</p>	<p>Studi aplikasi membran NF dan RO yang diterapkan dalam skala DWTP sangat efisien dalam menghilangkan hampir semua residu farmasi. Di Eropa pembuangan air residu ke dalam air permukaan, pelepasan kontaminan yang tidak diatur seperti obat-obatan bisa menjadi masalah yang sangat memprihatinkan.</p>
<p>Li ,Y. Zhanga, C. Causserand, P. Aimarb, J.P. Cravedi</p>	<p>Removal Of Bisphenol A By A Nanofiltration Membrane In View Of Drinking Water Production</p>	<p>Water Research 40 (2006) 3793 – 3799 Doi:10.1016/j.watres.2006.09.011</p>	<p>Efisiensi membran NF dalam mempertahankan bahan kimia kecil harus ditentukan dengan hati-hati, karena sifat mekanisme yang terlibat cukup kompleks. Selain itu, karena keseimbangan adsorpsi-desorpsi, membran dapat dianggap sebagai reservoir EDC dan senyawa yang</p>

			ditahan dapat dilepaskan ke permeat jika konsentrasi polutan dalam air baku memiliki sifat yang tidak menentu.
Van Der Bruggen, Vandecastelle, Carlo	Removal of pollutants from surface water and groundwater by nanofiltration: Overview of possible applications in the drinking water industry	Environmental Pollution 122 (2003) 435–445 Doi:10.1016/S0269-7491(02)00308-1	NF adalah metode yang cocok untuk menghilangkan berbagai polutan dari air tanah atau air permukaan, produksi air minum. Aplikasi utama adalah pelunakan, tetapi NF biasanya diterapkan untuk penghilangan kombinasi NOM, mikropolutan, virus dan bakteri, nitrat dan arsenik, atau untuk desalisasi parsial. Aplikasi yang lebih kompleks mungkin memerlukan implementasi sistem hybrid, misalnya. dalam kombinasi dengan adsorpsi atau biodegradasi.
Shim, Yongki Rixey, William G. Chellam, Shankararaman	Influence of sorption on removal of tryptophan and phenylalanine during nanofiltration	Journal of Membrane Science 323 (2008) 99–104 Doi:0.1016/j.memsci.2008.06.022	Asam amino mendekati titik isoelektrik sehingga membran itu Ditolaktryptophan and phenylalanine. Selain itu, selama tahap awal membran NF, penyerapannya meningkatkan waktu yang diperlukan untuk mencapai rejeksitryptophan and phenylalanine dalam kondisi tunak. Harus ditekankan bahwa selain hidrofobisitas, interaksi spesifik mungkin ada antara asam amino dan polimer membran.
Dewi Sri Suminar	Nanofiltrasi sebagai " Best Available Technology " untuk Pengolahan Air Nanofiltrasi sebagai " Best Available Technology " untuk Pengolahan Air	https://www.researchgate.net/publication/287596 2015	Penggunaan proses membran nanofiltrasi untuk pengolahan air minum dari sumber air alami sudah banyak diterapkan, begitu pula dengan industri-industri yang menggunakan air dalam jumlah yang besar sebagai bahan bakunya saat ini sudah mulai mengolah air limbahnya untuk dijadikan kembali sebagai air proses.
Jae-Hyuk Kim, Pyung-Kyu Park, Chung-Hak Lee, Heock-Hoi Kwon	Surface Modification Of Nanofiltration Membranes To Improve The Removal Of	Journal of Membrane Science 321 (2008) 190–198 DOI:10.1016/j.memsci.2008.04.055	Membran nanofiltrasi (NF) film tipis komposit komposit (TFC) poliamida dimodifikasi secara kimia untuk meningkatkan kapasitas penolakannya untuk polutan mikro organik terpilih yang dikategorikan sebagai bahan

	Organic Micro-Pollutants (Edcs And Phacs) In Drinking Water Treatment		kimia pengganggu endokrin (EDC) dan senyawa aktif secara farmasi (PhACs): bisphenol-A (BPA), ibuprofen, dan asam salisilat.
Adenira Hargianintya, Heru Susanto	Pengolahan Limbah Cair Pencucian Mobil Menggunakan Teknologi Membran Ultrafiltrasi Berpori 10 Dan 25 Kda	Jurnal Teknik Lingkungan UNDIP. Tahun 2011	Faktor tekanan mempengaruhi tingkat rejeksi parameter minyak. Penurunan tingkat rejeksi seiring dengan peningkatan tekanan dapat disebabkan komponen minyak memiliki daya lebih untuk melewati membran sehingga kandungan minyak menjadi lebih tinggi pada permeat dan menurunkan tingkat rejeksi.
Firmansyah Agil Saputra	Pengolahan Limbah Cair Berminyak Dengan Teknologi Membran	https://www.researchgate.net/publication/303370787 tahun 2016	Membran telah menjadi sebuah teknologi baru untuk pengolahan limbah cair berminyak karena efisiensi yang tinggi dan proses operasional yang relatif lancar.
Notodarmojo Suprihanto	Pengolahan Limbah Cair Emulsi Minyak dengan Proses Membran ultrafiltrasi Dua-tahap Aliran Cross-flow	PROC. ITB Sains & Tek. Vol. 36 A, No. 1, 2004, 45-62 45 Pengolahan	Umpan limbah dengan pre-treatment memberikan hasil fluks yang lebih baik dari umpan limbah tanpa pre-treatment/ Proses pretreatment pada limbah, kualitas permeat yang dihasilkan dari proses membran lebih baik dibandingkan dengan umpan limbah tanpa proses pretreatment, dan dihasilkan fluks yang lebih baik.
Alzahrani, Wahab	Tantangan Dan Tren Dalam Penerapan Teknologi Membrane Untuk Menghasilkan Pengolahan Air	Journal of Water Process Engineering, 4, pp.107–133. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2014.09.007 .	Penerapan teknologi membran menunjukkan bahwa keberhasilan teknologi aplikasi membran saat ini masih ada beberapa tantangan tetap ada, seperti fouling membran, yang terjadi karena kontaminan kompleks dalam air yang dihasilkan, termasuk bahan organik, senyawa skala, boron dan silika, dan tidak adanya standar prosedur pembersihan.
Zularisam,	Perlakuan bahan	a review. , 194,	MF dan UF minum proses

A.W., Ismail, A.F. & Salim, R	organik alami dalam filtrasi membran untuk air permukaan	pp.211–231. Doi:10.1016/j.desal.200 5.10.030	pengolahan air yang sangat cocok untuk mengurangi padatan tersuspensi dan bahan koloidseperti bakteri, alga, protozoa dan anorganik partikulat. Namun, jenis filtrasi ini kurang berhasil untuk menghilangkan kontaminan terlarut, terutama bahan organik di permukaan air.
Peters	Teknologi membran untuk pengolahan air	Chemical engineering & technology. 33, 1233-1240.	Teknologi membran berhasil digunakan, dan semakin digunakan untuk tujuan yang berbeda dan untuk berbagai macam aplikasi dalam bidang pengolahan, pemurnian air dan air limbah.
Abdullah Alkhudhiri , Naif Darwish	Pengolahan Produksi Air : Penerapan Destilasi Membran Gap Udara	DES, 309, pp.46–51. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2012.09.017	Hasil Penelitian eksperiment bentuk produksi air dengan tiga parameter membrane yang berbeda. Secara khusus, fluks permeat, penolakankondensasi temp. = 10 ° faktor C dan konsumsi energi untuk TF200, TF450 dan TF1000 anggota dan laju alir = 1,5 l / min. membrane brane, dengan ukuran pori0,2, 045 dan 1 m. AGMD adalah teknologi yang menjanjikan untuk pengobatan air yang dihasilkan. Juga, diharapkan menjadi proses hemat biaya.
Xu, Lili Wang, Jun Zhang, Xiaohui Hou, Deyin Yu, Yang	Pengembangan Sistem Membrae Yang Terintegrasi Penggabungan Dengan Unit Adsorpsi Arang Aktif Untuk Pengolahan Gasifikasi Limbah Batubara	Journal Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 484(2015) 99-107 Doi:10.1016/j.colsurfa.2 015.07.062	Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagianbesar bahan organik secara efektif dihapus oleh unit adsorpsi. Akibatnya, fenomena fouling unit membran berikutnya ditekan.Fluks permeat unit UF, RO, dan MD meningkat 31,6%, 21,9%, dan 23,1%. Hasil menunjukkan bahwa kopel diaktifkan adsorpsi arang dengan unit membrane terintegrasi adalah pilihan yang menarik dan layak untuk pengobatan lanjutan

			gasifikasi batubara air limbah.
Wahyu Rachmi Pusparini, Isyuniarto	Teknologi Pemisahan Zr-Hf Menggunakan Metode Kompleksasi-Membran Nanofiltrasi	Prosiding PPI - PDIPTN 2010 Pustek Akselerator dan Proses Bahan - BATAN Yogyakarta, 20 Juli 2010	Metode kompleksasi membran nanofiltrasi dapat digunakan untuk pemisahan zirkonium hafnium. mempunyai <i>cutoff threshold</i> 200 sampai 2000 g/mol atau MWCO 2500 Da.
Tika Kumala Sari, Alia Damayanti	Pengolahan Limbah Laundry Menggunakan Membran Nanofiltrasi Zeolit Variasi Massa untuk Filtrasi Kekeruhan dan Fosfat	Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)	Nilai rejeksi tertinggi untuk parameter kekeruhan pada variasi massa zeolit 3 gram yaitu 87,09% dan massa 6 gram sebesar 88,46%. Nilai rejeksi tertinggi untuk parameter fosfat pada variasi massa zeolit 3 gram yaitu 82,68% dan pada membran 6 gram sebesar 82,97%.

