



**DISERTASI**

**PEMANENAN AIR DARI KOLAM BEKAS INDUSTRI BATUBARA  
MENGUNAKAN TEKNOLOGI MEMBRAN**

**Disusun oleh :**

**KISWANTO**

**NIM : 30000215510009**


**PROGRAM DOKTOR ILMU LINGKUNGAN  
SEKOLAH PASCASARJANA UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG  
2020**

**PEMANENAN AIR DARI KOLAM BEKAS INDUSTRI BATUBARA  
MENGUNAKAN TEKNOLOGI MEMBRAN**

**Oleh :  
KISWANTO  
NIM : 30000215510009**

Telah diuji dan dinyatakan lulus ujian pada tanggal 30 November 2020 oleh tim penguji  
Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro

Promotor



Prof. Dr. rer.nat. Heru Susanto, S.T., M.M., M.T  
NIP. 19750529 199802 1001

Ko-Promotor



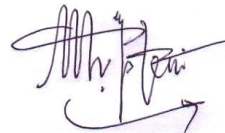
Dr. Ing. Sudarno, S.T., M.Sc  
NIP. 19740131 1999031003

Mengetahui,

Dekan  
Sekolah Pascasarjana  
Universitas Diponegoro

Dr. R.B. Sularto., SH, M.Hum  
NIP. 1967 0101 199103 1 005

Ketua Program Studi  
Doktor Ilmu Lingkungan  
Sekolah Pascasarjana  
Universitas Diponegoro



Dr. Hartuti Purnaweni, MPA  
NIP. 1961 1202 198803 2 009

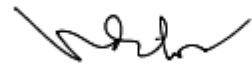
**PEMANENAN AIR DARI KOLAM BEKAS INDUSTRI BATUBARA  
MENGUNAKAN TEKNOLOGI MEMBRAN**

Oleh :  
**KISWANTO**  
**NIM : 30000215510009**

Telah disetujui oleh :

**Pimpinan Sidang :**

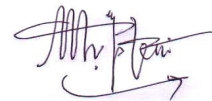
Prof. Dr. Hadiyanto, ST., M.Sc



.....

**Sekretaris Sidang :**

Dr. Hartuti Purnaweni, MPA



.....

**Tim Penguji :**

Prof. Dr. rer.nat. Sajidan, M.Si



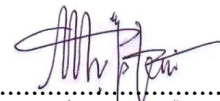
.....

Mochamad Arief Budiharjo, S.T., M. Eng.Sc, Env. Eng, Ph.D



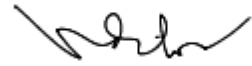
.....

Dr. Hartuti Purnaweni, MPA



.....

Prof. Dr. Hadiyanto, S.T., M.Sc



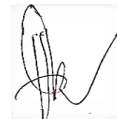
.....

Dr. Ing. Sudarno, S.T., M.Sc



.....

Prof. Dr. rer.nat. Heru Susanto, S.T., M.M., M.T



.....

## PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa disertasi dengan judul “Pemanenan Air Dari Kolam Bekas Industri Batubara Menggunakan Teknologi Membran”. Benar-benar karya asli saya sendiri yang disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor pada Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan Sekolah Pasca Sarjana Universitas Diponegoro.

Hasil karya orang lain yang saya kutip pada bagian-bagian tertentu disertasi saya, telah ditulis sumbernya secara jelas dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah secara benar. Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian disertasi ini bukan hasil karya saya sendiri atau plagiat, maka saya bersedia menerima pencabutan gelar akademik yang saya sandang dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku.

Semarang, November 2020



## BIODATA PEPNULIS



Penulis Lahir di Klaten pada tanggal 19 Oktober 1976, Anak ke-9 dari 9 bersaudara dari pasangan Bapak Sariman Rejo Dikromo dan Ny Rejo Jiyem. Pendidikan formal yang pernah ditempuh penulis yaitu Sekolah Dasar Negeri 3 Wadunggetas Lulus 1989, SMP Negeri 1 Wonosari lulus 1992, SMAM Delanggu lulus 1995. Kemudian melanjutkan pendidikan strata 1 (S1) Fakultas Pendidikan Teknik Bangunan di Universitas Sebelas Maret lulus tahun 2001. Melanjutkan pendidikan strata dua (S2) Sekolah Pascasarjana Ilmu Lingkungan UNS Lulus tahun 2005. Penulis juga memperoleh Beasiswa Pendidikan Pascasarjana Dalam Negeri (BPPDN) dari Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Tahun 2015 untuk meneruskan pendidikan di Sekolah Pascasarjana Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro. Beberapa karya ilmiah berupa artikel penelitian telah dipublikasikan di Jurnal Internasional, yaitu Jurnal Pendidikan IPA Indonesia (JPII) terindeks scopus Q2 pada 2020, Journal Aquatic Of Aceh Science 2017, ICENIS 3<sup>rd</sup> International Conference On Energy, Environment and Information System (ICENIS 2018), Industrial Engineering Conference the 5<sup>th</sup> IDEC 2018 ISSN : 2579-6429, Jurnal Kota Pekalongan 2019 dan 2020. Sejumlah hibah penelitian dan pengabdian masyarakat pernah penulis peroleh seperti hibah terapan, hibah pekerti, hibah dosen pemula, hibah pengabdian masyarakat dari Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi. Penulis juga pernah mengenyam pendidikan non formal di Pondok Pesantren Al Muaayad Windan Sukoharjo pada 1997-2000.

Penulis bekerja sebagai dosen tetap di Program Studi Teknik Industri Universitas Teuku Umar Meulaboh sejak tahun 2008 sampai sekarang. Penulis pernah bekerja di Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM), Yakkum Emergency Unit (YEU) sebagai relawan kemanusiaan konflik dayak sampit tahun 2000-2001. Penanganan banjir bandang di Situbondo tahun 2002, penanganan gempa dan tsunami di Aceh dan Nias tahun 2005-2008. Aktivitas penulis lain adalah sebagai penulis lepas di beberapa media massa seperti; Solopos, Suaramerdeka, Republika, Serambi Indonesia dan Kompas.

## Kata Pengantar

Assalamu'alaikum Warohmatullahi Wabaraktuh,

Puji syukur kepada Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang dengan segala Rahmat dan Karunianya yang berlimpah penulis dapat menyelesaikan penulisan Disertasi yang berjudul “Pemanenan Air Dari Kolam Bekas Industri Batubara Menggunakan Teknologi Membran”, merupakan penelitian eksperimen yang berlokasi di Aceh Barat, Sumatera Selatan dan Kalimantan Selatan. Trimakasih saya ucapakan Ibuku yang telah memberikan doa dan semangat dan Almarhum bapak yang telah mensupport dan memberikan doanya. Disertasi ini terdiri dari VI bab yaitu Bab. I. Pendahuluan, Bab. II. Tinjauan Pustaka, Bab. III. Kerangka Teori dan Kerangka Konsep, Bab IV. Metodologi Penelitian. Bab.V. Hasil Dan Pembahasan. Bab. VI. Kesimpulan dan Saran. Pada kesempatan ini, saya menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Heru Susanto, ST, MT., MM, sebagai Promotor dengan perhatiannya menyemangati, motivasi dan menumbuhkan rasa percaya diri dalam menyelesaikan Desertasi ini.
2. Bapak Dr. Ing. Sudarno, ST., M.Sc, sebagai Sekretaris Program Doktor Ilmu Lingkungan dan sekaligus sebagai Co-Promotor, dengan perhatian, kesabaran dan tak henti-hentinya selalu memotivasi penulis via WA maupun email, sehingga penulis memperoleh kekuatan dan rasa penuh percaya diri dalam menyelesaikan Desertasi ini.
3. Ibu Dr. Hartuti Purnaweni, MPA selaku Ketua Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan sekaligus sebagai penguji yang memberikan dorongan, semangat, untuk penyelesaian disertasi agar dapat segera diselesaikan.
4. Bapak Prof. Dr. Rer.nat. Sajidan, M.Si selaku penguji yang memberikan masukan, dorongan, dan arahan dalam penyempurnaan penulisan disertasi.
5. Bapak Dr. Mochamad Arief Budihardjo, ST., M.Eng.Sc selaku penguji yang memberikan masukan, dorongan, dan arahan dalam penyempurnaan penulisan disertasi.
6. Bapak Prof. Dr. Hadiyanto, ST., M.Sc selaku penguji yang memberikan masukan, dorongan, dan arahan dalam penyempurnaan penulisan disertasi.
7. Orang yang saya cintai; Wintah, M.Si sebagai istri yang telah menemani penulis dalam suka dan duka serta yang telah menyemangati penulis untuk menyelesaikan Desertasi ini.

Putriku “Fatma Kiswianti yang selalu memberikan doa dan dukungan dengan kemandiriannya sehingga menjadi penyemangat dalam penyelesaian disertasi ini.

8. Semua teman-teman Doktor Ilmu lingkungan angkatan 9 (Pak Slamet Budiyo, Pak Purwanto, ibu Andin, ibu Dina, ibu Feti, ibu Lina, Pak M. Ali dan Mr. Ali) yang telah ikut peran sertanya dalam memberikan motivasinya.
9. Teman-teman di Laboratorium Mer-C (mbak Nuni, mbak Pupah, mbak Nofi, mbak Ria, mba Sonya, mbak Yunita, mas Salam dan mas Malik) dan Teman-teman Laboratorium Teknik Lingkungan (Mba Dian, Mas Andri dan Mas Fandi) terimakasih atas bantuannya yang telah banyak membantu dalam penyediaan alat dan bahan.
10. Direktorat Jenderal Sumber Daya Ilmu Pengetahuan, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah memberikan dana Penelitian Disertasi Doktor (PDD).

Penulis berharap penelitian dan disertasi ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya bidang pengelolaan limbah serta pengolahan air kolam pasca tambang batubara. Penelitian dari disertasi ini masih belum sempurna dan masih banyak kekurangan. Semoga para pembaca berkenan memberikan masukan demi peningkatan kualitas penelitian dan perbaikan di dalam penyajian karya ilmiah pada masa yang akan datang. Demikianlah penulis sampaikan, semoga Allah SWT, berkenan menerima amal kebaikan bapak/ibu semua. Amin

Semarang, November 2020

Penulis

## **PERSEMBAHAN :**

**Penulis haturkan Disertasi ini sebagai bentuk ucapan terima kasih kepada :**

Kedua, orang tua, yaitu Bapak Sariman Rejo Dikromo dan Rejo Jiyem yang telah memberikan segalanya bagi perjuangan ananda di dalam kehidupan dan pendidikan yang telah dijalani selama ini.

Istriku, Wintah. M.Si dan Putriku, Fatma Kiswianti yang senantiasa bersama mendampingi dalam berbagai proses perjalanan dan juga mengikhhlaskan sebagaian waktu dalam menyelesaikan studi ini.

Kedua, Mertua, yaitu Bapak Cahyono dan Ibu Masriah yang telah memberikan dukungan dan suportnya untuk menyelesaikan studi ini

Bpk KH. M. Dian Nafi' dan Ibu Murtafiah Mubarokah ; sebagai guru dan orang tua kedua yang telah membimbing, memotivasi, dan memberikan curahan ilmu dunia dan akhirat

Keluarga besar Trah Wongso Dikromo dan semua pihak yang telah berkontribusi bagi kemajuan ilmu pengetahuan

## **MOTTO**

“JANGAN MENYESAL TELAH BERBUAT BAIK “  
(K.H. Umar Abdul Mannan)

“DOA DAN USAHA PANTANG MENYERAH MERUPAKAN KUNCI  
KEBERHASILAN”

“ILMU HARUS DI CARI WALAUPUN GURUNYA SEORANG BAYI”



## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH .....	iv
BIODATA PENULIS .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN DAN MOTTO.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAT.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
GLOSARIUM .....	xv
DAFTAR SINGKATAN.....	xxii
ABSTRAK.....	xxiv
RINGKASAN.....	xxvi
BAB I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Perumusan Masalah.....	6
C. Pertanyaan Penelitian .....	9
D. Tujuan Penelitian .....	9
E. Manfaat penelitian .....	10
F. Orisinalitas penelitian .....	11
BAB II. KAJIAN PUSTAKA	
A. Batubara.....	23
1. Jenis Batubara.....	25
2. Sifat Batubara.....	26
3. Air Asam Tambang.....	27
4. Dampak Tambang Batubara.....	33
B. Kondisi Sosial Ekonomi Masyarakat Tambang.....	38

C. Pemanfaatan Lahan Pasca Tambang.....	39
D. Pembangunan Berkelanjutan.....	41
E. Teknologi Membran.....	43
1. Proses-Proses Membran.....	44
2. Klasifikasi Membran.....	45
3. Prinsip Pemisahan dengan Membran.....	52
4. Kinerja Membran.....	53
<b>BAB III. KERANGKA TEORI, KERANGKA KONSEP DAN HIPOTESIS</b>	
A. Kerangka Teori.....	59
B. Kerangka Konsep.....	63
C. Hipotesis .....	66
<b>BAB IV. METODE PENELITIAN</b>	
A. Tempat dan Waktu Penelitian .....	67
B. Desain Penelitian .....	68
C. Populasi dan Sampel.....	68
D. Variabel Penelitian .....	68
E. Materi Penelitian .....	70
F. Teknik Pengumpulan Data Penelitian .....	70
G. Analisis Data Penelitian.....	83
H. Alur penelitian .....	85
<b>BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
A. Karakteristik Air Asam Tambang Batubara.....	86
B. Karakteristik Membran Nanofiltrasi NF270 .....	90
C. Pengaruh Tekanan Operasi Terhadap Kinerja Membran Nanofiltrasi NF270 .....	92
1. Uji Fluks Larutan COD.....	93
2. Uji Fluks Larutan TSS.....	97
3. Uji Fluks Larutan TDS.....	100
4. Uji Fluks Larutan Fe.....	103
5. Uji Fluks Larutan Mn.....	106
6. Uji Fluks Larutan Campuran.....	108

7. Uji Fluks Larutan Air Asam Tambang.....	111
D. Perbandingan Konsentrasi Larutan Tunggal, Campuran, dan Air Asam Tambang (AAT) .....	114
1. Perbandingan Konsentrasi Larutan Tunggal.....	114
2. Perbandingan Konsentrasi Larutan Campuran.....	123
3. Perbandingan Konsentrasi Larutan Air Asam Tambang.....	133
E. Tingkat Rejeksi Larutan Tunggal,Campuran dan Air Asam Tambang.....	134
1. Tingkat Rejeksi Larutan Umpan Di Aceh Barat.....	135
2. Tingkat Rejeksi Larutan Umpan Di Sumatera Selatan.....	138
3. Tingkat Rejeksi Larutan Umpan Di Kalimantan Selatan.....	141
F. Perbandingan Karakteristik Fouling dan Analisis SEM Pada Permukaan Membran.....	147
G. Perbandingan Karakteristik dengan FTIR.....	150
H. Manfaat Rona Akhir Terhadap Aspek Sosial, Ekonomi dan Lingkungan.....	157
1. Manfaat Sosial .....	158
2. Manfaat Ekonomi .....	159
3. Manfaat Lingkungan .....	159
I. Pemanfaatan Kolam Bekas Tambang ( <i>Void</i> ) Terhadap Pembangunan Berkelanjutan.....	160
1. Kualitas Air Hasil Olahan Menggunakan Teknologi Membran NF270 .....	161
2. Persepsi Masyarakat Untuk Pemanfaatan Kolam Bekas Tambang .....	165
<b>BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
A. Kesimpulam .....	169
B. Saran.....	171
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Ilustrasi Membran dan Sifat Semi Permeabel .....	53
3.1 Kerangka Teori Pemanenan Air Kolam Bekas Tambang Batubara.....	62
3.2 Kerangka Konsep Penelitian.....	65
4.1 Skema kerja Filtrasi Membran .....	72
4.2 Alur Penelitian .....	85
5.1 Fluks Air Murni Pada Membran NF270 .....	91
5.2 Profil Relative Fluks Larutan Umpan COD Terhadap Waktu.....	94
5.3 Profil Relative Fluks Larutan Umpan TSS Terhadap Waktu.....	98
5.4 Profil Relative Fluks Larutan Umpan TDS Terhadap Waktu.....	101
5.5 Profil Relative Fluks Larutan Umpan Fe Terhadap Waktu.....	104
5.6 Profil Relative Fluks Larutan Umpan Mn Terhadap Waktu.....	107
5.7 Profil Relative Fluks Larutan Umpan Campuran Terhadap Waktu....	109
5.8 Profil Relative Fluks Larutan Umpan Air Asam Tambang Batubara Terhadap Waktu.....	112
5.9 Perbandingan Profile Relative Fluks Larutan Umpan COD Terhadap Waktu.....	114
5.10 Perbandingan Profile Relative Fluks Larutan Umpan TSS Terhadap Waktu.....	116
5.11 Perbandingan Profile Relative Fluks Larutan Umpan TDS Terhadap Waktu.....	118
5.12 Perbandingan Profile Relative Fluks Larutan Umpan Fe Terhadap Waktu.....	120
5.13 Perbandingan Profile Relative Fluks Larutan Umpan Mn Terhadap Waktu.....	122
5.14 Perbandingan Profile Relative Fluks Larutan Umpan Campuran Terhadap Waktu.....	124
5.15 Perbandingan Profile Relative Fluks Larutan Umpan Air Asam Tambang Sintetis Terhadap Waktu pH4 Tekanan (4,5, 6) Bar.....	127
5.16 Perbandingan Profile Relative Fluks Larutan Umpan Air Asam	

	Tambang Sintetis Terhadap Waktu pH7 Tekanan (4,5, 6) Bar.....	129
5.17	Perbandingan Profile Relative Fluks Larutan Umpan Air Asam Tambang Sintetis Terhadap Waktu pH9 Tekanan (4,5, 6) Bar.....	131
5.18	Perbandingan Profile Relative Fluks Larutan Umpan Air Asam Tambang Asli Terhadap Waktu .....	133
5.19	Hasil Uji SEM Membran Untuk Wilayah Aceh Barat .....	147
5.20	Hasil Uji SEM Membran Untuk Wilayah Sumatera Selatan .....	147
5.21	Hasil Uji SEM Membran Untuk Wilayah Kalimantan Selatan .....	148
5.22	Hasil Uji Spectrum FTIR Membran NF270 Baru dan Membran Fouling (Air Asam Sintetik dan Air Asam Asli) di Aceh Barat .....	151
5.23	Hasil Uji Spectrum FTIR Membran NF270 Baru dan Membran Fouling (Air Asam Sintetik dan Air Asam Asli) di Sumatera Selatan	151
5.24	Hasil Uji Spectrum FTIR Membran NF270 Baru dan Membran Fouling (Air Asam Sintetik dan Air Asam Asli) di Kalimantan Selatan.....	152
5.22	Lokasi Penelitian : Di Kalimantan Selatan, Sumatera Selatan, dan Aceh Barat .....	163

## DAFTAR TABEL

	Halaman
1.1 Penelitian Terdahulu .....	14
2.1 Karakterisasi Retensi dari Membran Nanofiltrasi .....	52
4.1 Definisi Operasional Variabel .....	69
4.2 Karakteristik Membran NF270 (Dow Filmtec) .....	71
4.3 Konsentrasi Larutan Air Asam Tambang .....	73
5.1 Hasil Karakterisasi Air Asam Tambang Batubara di Kalsel .....	88
5.2 Hasil Karakterisasi Air Asam Tambang Batubara di Sumsel .....	88
5.3 Hasil Karakterisasi Air Asam Tambang Batubara di Aceh Barat .....	88
5.4 Komposisi Rata-rata Sampel Air Asam Tambang dan baku mutu .....	89
5.5 Rejeksi Umpan Larutan Tunggal di Aceh Barat .....	134
5.6 Rejeksi Umpan Larutan Campuran di Aceh Barat .....	134
5.7 Rejeksi Umpan larutan Air Asam Batubara di Aceh Barat .....	134
5.8 Rejeksi Umpan Larutan Tunggal di Sumatera Selatan .....	138
5.9 Rejeksi Umpan Larutan Campuran di Sumatera Selatan .....	138
5.10 Rejeksi Umpan Larutan Air Asam Batubara di Sumatera Selatan .....	138
5.11 Rejeksi Umpan Larutan Tunggal di Kalimantan Selatan .....	141
5.12 Rejeksi Umpan Larutan Campuran di Kalimantan Selatan .....	141
5.13 Rejeksi Umpan Larutan Air Asam Tambang di Kalimantan Selatan ..	142

## **DAFTAR LAMPIRAN**

- Lampiran 1. Hasil Uji Efluen Setelah Proses Filtrasi menggunakan NF270
- Lampiran 2. Hasil Rejeksi menggunakan NF270
- Lampiran 3. Gambar Membrane NF270 Setelah Filtrasi
- Lampiran 4. Gambar Uji SEM
- Lampiran 5. Hasil Uji FTIR
- Lampiran 6.1 Uji Fluks Larutan Tunggal
- Lampiran 6.2 Uji Fluks Larutan Campuran
- Lampiran 6.3 Uji Fluks Larutan Air Asam Tambang

## GLOSARIUM

**Adsorpsi** : Proses yang terjadi ketika suatu fluida terikat kepada suatu padatan dan akhirnya membentuk suatu lapisan tipis pada permukaan padatan tersebut.

**Air Asam Sintetik**: Air Asam yang dibuat pada skala laboratorium

**Aliran buntu (dead end flow)**: pola aliran melalui modul membran di mana larutan umpan tegak lurus dengan permukaan membran dan dikeluarkan sebagai permeat. Semua komponen umpan yang dapat melewati membran dikeluarkan sebagai permeat.

**Aliran silang (cross flow)**: pola aliran melalui modul membran di mana fluida pada sisi hulu membran (larutan umpan) bergerak sejajar dengan permukaan membran dan cairan di sisi hilir membran (permeat) bergerak menjauhi membran.

**Backflush**: aliran dari arah permeat menuju sisi umpan yang bertujuan untuk mengangkat deposisi partikel di dalam/diatas permukaan membran dalam proses pengendalian fouling.

**Bobot Molekul** : Jumlah bobot dari atom-atom yang ditunjukkan dalam rumusnya

**Bubble point**: metode karakterisasi membran berpori yang menunjukkan tekanan yang diberikan untuk terlihatnya gelembung udara/gas pertama kali di salah satu permukaan membran berpori yang direndam pada permukaan lainnya diberikan tekanan gas.

**Cake** : lapisan solut/makromolekul yang ditolak oleh membran dan terdeposisi di atas permukaan membran.

**Cake layer** : Lapisan fouling yang terjadi apabila diameter molekul kontaminan yang dilewatkan pada membran lebih besar dibandingkan diameter pori membran yang digunakan.

**Degradasi Oksidatif** : Perubahan atau peruraian suatu senyawa atau molekul akibat adanya reaksi oksidasi

**Deposisi** : Partikel yang tertumpuk di atas permukaan membran

**Deprotonasi** : Istilah kimia yang merujuk pada pelepasan sebuah proton (kation hidrogen  $H^+$ ) dari sebuah molekul, membentuk konjugat basa. Kemampuan relatif sebuah molekul untuk melepaskan sebuah proton.

**Desalinasi**: Proses pengurangan kandungan garam di dalam suatu larutan

**Dialisis** : Digunakan untuk memisahkan garam dan microsolute dari suatu larutan



**Distilasi :** Adalah proses pemisahan berdasarkan beda konsentrasi

**Distilasi Membran:** Adalah pemisahan dengan media kontak membran hidrophobik berpori.

Proses tersebut terutama ditujukan untuk pemekatan larutan

**Driving force:** Beda gaya dorong pada membrane

**Efek Elektroviskos :** Efek dari muatan sebuah permukaan pada viskositas suatu fluida

**Elektrical double layer :** Lapisan yang terbentuk pada suatu permukaan akibat kontak dengan suatu larutan.

**Elektrodialisis :** Adalah proses pemisahan secara elektrokimia dengan ion-ion berpindah melintasi membran selektif anion dan kation dari larutan encer ke larutan yang lebih pekat akibat aliran arus listrik searah. yaitu dibawah 2 bar. Membran Mikrofiltrasi (MF) memiliki ukuran pori antara 0,02 sampai 10  $\mu\text{m}$  dan tebal antara 10 sampai 150  $\mu\text{m}$ .

**Elektrostatic attraction :** Gaya tarik menarik antara permukaan dengan larutan

**Elektrostatic Repulsion :** Gaya tolak-menolak antara permukaan dengan larutan

**Evaporation induced phase separation (EIPS):** metode pembuatan membran di mana proses pepadatan dilakukan dengan penguapan pelarut/solvent dari larutan polimer.

**Faktor konsentrasi :** rasio konsentrasi suatu komponen dalam retentat terhadap konsentrasi komponen yang sama dalam umpan [ $C_F = [(C_i)_{\text{retentate}} / (C_i)_{\text{feed}}]$ ]

**Faktor pemisahan (separation factor  $SF_{(AB)}$ ):** komponen yang sama pada retentat ( $SF_{(AB)} = [X_A/X_B]_{\text{permeat}} / [X_A/X_B]_{\text{retentate}}$  rasio komposisi permeat relatif komponen A dan B terhadap rasio komposisi).

**Faktor rejeksi, R:** parameter yang didefinisikan sebagai satu dikurangi rasio konsentrasi komponen (i) pada permeat dan pada umpan ( $R = 1 - [(C_i)_{\text{permeat}} / (C_i)_{\text{umpan}}]$ ). Parameter ini menunjukkan tingkat selektifitas membran.

**Faktor retensi,  $r_F$  :** parameter yang didefinisikan sebagai satu dikurangi rasio konsentrasi (i) pada permeat terhadap konsentrasi komponen (i) pada retentat ( $r_F = 1 - [(C_i)_{\text{permeat}} / (C_i)_{\text{retentat}}]$ ).

**Filtrasi aliran tangensial (=crossflow):** pola aliran melalui modul membran di mana fluida pada sisi hulu membran (larutan umpan) bergerak sejajar dengan permukaan membran dan cairan di sisi hilir membran (permeat) bergerak menjauhi membran.

**Fluks,  $J_i$ , [ $\text{kmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  atau  $\text{Lm}^{-2}\text{jam}^{-1}$ ]:** jumlah mol atau volume atau massa yang komponen ditetapkan (i) yang melewati membran per satuan waktu per unit luas normal permukaan

membran. Juga dapat diartikan sebagai massa atau aliran volumetrik melalui filter/membran per unit waktu per satuan luas membran.

**Foulant** : Kontaminan yang mengakibatkan fouling

**Fouling** : deposisi padatan tersuspensi atau padatan terlarut (dapat berupa makromolekul, koloid, partikel sangat halus) pada permukaan membran pada mulut atau di dalam pori-pori membran yang mengakibatkan penurunan kinerja membran.

**Gugus aromatik** : Senyawa organik yang memiliki gugus fenil

**Gugus karbosiklik** : Senyawa karbon siklik yang rantai lingkaranya hanya terdiri dari atom C saja. Yang termasuk karbosilik adalah senyawa aromatis dan alisiklik.

**Hidrofilik** : Suatu senyawa yang dapat berikatan dengan air

**Hidrofobik/lipofilik** : Suatu senyawa yang tidak dapat berikatan dengan air tetapi dapat berikatan dengan minyak

**Hidrolisis** : Reaksi kimia yang memecah molekul air ( $H_2O$ ) menjadi kation ( $H^+$ ) dan anion hidroksida ( $OH^-$ ) melalui suatu proses kimia

**Hubungan etilenik** : Hubungan karbon dengan ikatan ganda dapat

**Humic Acid (HA)** : Dapat disebut juga Asam Humat (AH); merupakan hasil degradasi residu tanaman maupun hewan di sekitar badan air yang terbawa kedalam air permukaan dengan adanya runoff air hujan

**Ikatan Hidrogen** : Sejenis gaya tarik antar molekul yang terjadi antara dua muatan listrik parsial dengan polaritas yang berlawanan

**Inlet feed** : Aliran umpan masuk

**Ion** : Molekul bermuatan listrik

**Kompaksi** : Perlakuan preparasi membran dengan cara mengalirkan aquadest selama 30 menit menggunakan tekanan 1 bar lebih tinggi dari tekanan operasi

**Kompaksi membran** : kompresi struktur membran akibat perbedaan tekanan sepanjang ketebalan membran.

**Larutan Umpan** : Larutan sebelum difiltrasi menggunakan membran

**Makromolekul** : Molekul yang sangat besar

**Makromolekul**: Senyawa yang mempunyai berat molekul cukup besar

**Materi** : Bahan yang akan dipisahkan

**Membran** : lapisan tipis di antara dua fasa yang bersifat selektif (semi permeabel) dan berfungsi mengatur perpindahan komponen pada dua kompartemen yang berdekatan tersebut.

**Membran Asimetrik** : membran yang memiliki struktur pori berbeda sepanjang ketebalan membran. Pada bagian atas dan bawah membran mempunyai ukuran pori yang berbeda.

**Membran komposit** : membran yang terbuat dari dua material atau lebih dengan tujuan untuk mendapatkan efek sinergi.

**Membran post treatment** : perlakuan yang dilakukan setelah membran terbentuk sebelum digunakan untuk aplikasi nyata.  
mengandung makromolekul

**Micelle/Misel** : Molekul kecil yang berukuran mikroskopis bersifat ganda yang dapat menyerap air (Hidrofilik) dan menyerap lemak(lipofilik)

**Mikrofiltrasi** : proses pemisahan suatu komponen dari larutannya menggunakan membran dengan gaya pendorongnya adalah beda tekanan. Digunakan untuk pemisahan partikel tersuspensi ukuran pori membran berkisar 0,02 sampai 10 mikron.

**Modul** : Unit operasi tunggal atau unit terkecil membran yang memiliki luas tertentu dimana membran tersebut dirancang secara teknis untuk digunakan disebut sebuah modul

**Modul membrane:** Merupakan bagian inti dari suatu instalasi membran. Modul membrane terdiri atas membran, struktur penahan tekanan, inlet feed, outlet permeate dan outlet retentate.

**Modul Plate and Frame:** Modul ini terdiri atas lembaran membran dan plat penyangga (support plate). Membran dan plat disegel dengan menggunakan gasket atau dapat juga direkatkan langsung dengan heating seal (menggunakan panas) atau perekat tertentu untuk membentuk suatu elemen membran yang menyatu

**Molekul** : Sekelompok atom (paling sedikit dua) yang saling berikatan dengan sangat kuat (kovalen) dalam susunan tertentu dan bermuatan netral serta cukup stabil

**Molekuler weight cut off (MWCO):** massa molekul suatu makromolekul yang direjeksi sekurang-kurangnya 90% oleh membran. Biasanya digunakan untuk mengkarakterisasi membran ultrafiltrasi.

**Nanofiltrasi** : proses pemisahan suatu komponen dari larutannya menggunakan membran dengan gaya dorong tekanan. Membran pada nanofiltrasi mempunyai ukuran pori berkisar 1 nano meter. Untuk pemisahan ion bervalensi jamak dan disakarida.

**Net Driving Pressure** : Selisih antara tekanan operasi dengan tekanan osmotik

**NOM** : Natural organik matter merupakan komponen organik yang terdapat didalam air permukaan maupun air tanah

**Non-solvent induced phased separation (NIPS)** : metode pembuatan membran di mana proses pepadatan dilakukan dengan perendaman di dalam non-solvent bagi polimer.

**Outlet permeate**: Aliran permeat yang keluar

**Outlet retentate**: Aliran retentate yang keluar

**Panjang Gelombang** : Sebuah jarak antara satuan berulang dari sebuah pola gelombang

**Partikel** : Komponen yang tersuspensi dalam pelarut utama atau fasa kontinyu, partikel dapat mencakup koloid, sel-sel (dan sel fragmen), virus, spora, endapan anorganik, debu dan lain-lain.

**Penetran (permeant)** : Entitas dari sebuah fase yang kontak dengan salah satu permukaan membran dan melewati membran.

**Permeabilitas** : Fluks dibagi dengan gaya dorong yang diberikan.

**Permeat (filtrat, Produk)**: komponen umpan yang dapat melewati membran .

**Permeat** : Larutan yang telah difiltrasi menggunakan membran

**Polarisasi konsentrasi**: Adalah peningkatan lokal konsentrasi solute pada permukaan membran.

**Polarisasi konsentrasi**: proses terakumulasinya komponen umpan sebagai akibat sifat selektivitas membran.

**Polimer** : Bahan Penyusun membra

**Prinsip sieving mechanism** : Prinsip pemisahan dari proses membran dengan gaya dorong tekanan

**Reaktor membran**: perangkat untuk melakukan reaksi dan pemisahan secara simultan berbasis/menggunakan membran.

**Recovery**: Rasio laju alir volumetrik permeat dan laju alir volumetrik umpan.

**Rejeksi** : Tertahannya umpan pada permukaan membran

**Relative Fluks** : Rasio Fluks aquadest dan fluks larutan umpan

**Rentetate:** Aliran yang tertahan pada permukaan membrane

**Retentat/kosentrat(rafinate/concentrate):** aliran yang tidak melewati membran (ditolak oleh membran) dan meninggalkan modul membran.

**Reverse Osmosis :** Proses yang mengurangi kadar polutan dari fluida dengan melewatkannya pada sebuah membran berpori <1 nm

**Selektif :** Secara terseleksi

**Semipermeabel :** Dapat dilewati hanya oleh senyawa/bahan tertentu saja

**Senyawa Alifatik :** Senyawa yang mengandung karbon dan hidrogen yang tergabung bersama dalam rantai lurus , bercabang atau cincin non-aromatik

**Sieving Mechanism :** Proses pemisahan umpan Menggunakan membran yang terjadi akibat perbedaan besar molekul umpan dengan pori membran

**Spacer:** Spacer (pengatur jarak) berfungsi untuk memisahkan letak kedua membran dan sebagai penguat kedudukan membran, selain itu juga untuk mengatur kontrol larutan feed, karena itu spacer dilengkapi dengan lubang dan saluran untuk lewat aliran dan sekat (screen)

**Tekanan osmotik :** tekanan yang dibutuhkan untuk mempertahankan kesetimbangan osmotik yang dipisahkan oleh suatu membran yang dapat ditembus hanya oleh pelarut tersebut.

**Tekanan Trans membran (TMP:trans membran pressure):** perbedaan tekanan absolut dari sisi umpan dan.

**Thermally induced phased separation (TIPS):** Metode pembuatan membran di mana proses pelarutan polimer dilakukan pada temperatur tinggi dan proses pematatan dilakukan dengan penurunan temperatur.

**Tingkat Rejeksi :** Kemampuan membran menyisihkan kontaminan yang tidak diharapkan

**Titik Isoelektrik :** Keadaan pada saat membran memiliki muatan netral

**Total oganik Compound :** Jumlah carbon yang menempel/terkandung didalam senyawa organik dan digunakan sebagai salah satu indikator kualitas air (air bersih maupun air limbah)

**Ultrafiltrasi:** Proses pemisahan suatu komponen dari larutannya menggunakan membran dengan gaya dorong adalah beda tekanan. Ukuran pori berkisar 2 – 100 nm. Biasanya digunakan untuk pemisahan makromolekul.

**Vapor induced phased separation (NIPS):** metode pembuatan membran di mana proses pepadatan dilakukan dengan penyerapan uap non-solvent dari polimer.

**Wettability :** Sifat kimia dari permukaan membran yang berhubungan dengan hidrofilitasnya.

**Zeta Potensial :** Parameter muatan listrik antara partikel koloid

## DAFTAR SINGKATAN

(%)	: Percentage
$^{\circ}\text{C}$	: Derajat Celcius
A	: Luas permukaan membran ( $\text{m}^3$ )
$A_o$	: Luas permukaan membran saat membran bersih ( $\text{m}^2$ )
AAS	: Atomic Absorption Spectroscopy
AAT	: Air Asam Tambang
AMD	: Acid Mine Drainage
Abar	: Aceh Barat
AH	: Asam Humat
AMDAL	: Analisis Mengenai Dampak Lingkungan
AMWC	: Average Molecular Weight Carbon
<i>cf</i>	: Konstanta filtrasi <i>cake</i> ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
cm	: Centimeter
COD	: Chemical Oxygen Demand
EDL	: Elektrical Double Layer
Fe	: Ferrum/Besi
$\text{FeCl}_3$	: Ferum Chloride
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{sH}_2\text{O}$	: Ferrum Chloride Hydrogen Dioxygen
FTIR	: Fourier Transform Infrared Spectroscopy
g	: Gram
g/L	: Gram per liter
$\text{H}_2\text{O}$	: Hydrogen Dioxygen
$\text{H}_2\text{O}$	: Air
$\text{H}_2\text{SO}_4$	: Asam Sulfat
HCl	: Hydrogen Chloride
J	: Fluks permeate ( $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ atau $\text{m}/\text{s}$ )
$J^*$	: Fluks kritis permeate pada aliran silang ( $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ atau $\text{m}/\text{s}$ )
$J_0$	: Fluks permeate di awal waktu ( $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ atau $\text{m}/\text{s}$ )
$J_{sm}$	: Fluks membran spesifik dengan larutan umpan ( $\text{L}/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$ )
$J_{sm0}$	: Fluks membran baru spesifik dengan umpan air destilasi ( $\text{L}/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$ )
$J_{std}$	: Normalitas fluks spesifik
K	: Sifat dari fouling tiap model
KA	: Permukaan membran yang terblokir per unit volume permeate di pemblokiran keseluruhan atau intermediate ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ atau $\text{m}^{-1}$ )
Ka	: Konstanta dari model pemblokiran keseluruhan
Kalsel	: Kalimantan Selatan
kb	: Konstanta dari model pemblokiran standar ( $\text{s}^{-1}$ )
kc	: konstanta dari model filtrasi cake ( $\text{s}^{-1}$ )
<i>kDa</i>	: Kilo dalton
L	: Liter
$\text{M}^2/\text{m}^3$	: Square meter per-cubic meter

MBR	: Membrane bioreactor
mg	: Miligram
mg/L	: Milligram per liter
mg/L	: Milligram per-liter
Mn	: Mangan
MnSO <sub>4</sub>	: Mangan Sulfat
MW	: Molecular weight
N	: derajat sifat fouling tiap model
NaCl	: Natrium Clorida
NaOH	: Sodium hydroxide
Nm	: Nanometer
NOM	: Natural organic matter
O <sub>2</sub>	: Molecular Oxygen
pH	: Potensial of Hydrogen
ppm	: part per milion
Q	: Laju aliran volume saat filtrasi (m <sup>3</sup> /s)
Q <sub>0</sub>	: Laju aliran volume di awal waktu (m <sup>3</sup> /s)
R	: Total resistansi saat filtrasi atau hidraulik resistansi (m <sup>-1</sup> )
R <sub>c</sub>	: Resistansi <i>cake</i> saat terjadi filtrasi <i>cake</i> (m <sup>-1</sup> )
R <sub>m</sub>	: Resistansi membran saat bersih (m <sup>-1</sup> )
R <sub>r</sub>	: Rasio resistansi <i>cake</i> terhadap resistansi membran
SEM	: Scanning Electron Microscope
Sumsel	: Sumatera Selatan
T	: Waktu (s)
TDS	: Total Dissolved Solid
Temp	: Temperature
TMP	: Trans Membrane Pressure
TSS	: Total Suspended Solid
UV/VIS	: Ultraviolet visible
V	: Volume permeate (m <sup>3</sup> )
$\alpha$	: Resistansi spesifik <i>cake</i> (m/kg)
$\epsilon\theta$	: Porositas permukaan membran
$\mu\text{m}$	: Micrometer



## ABSTRAK

Kolam bekas tambang industri batubara menjadi persoalan serius apabila tidak ditangani dengan baik. Air kolam bekas tambang batubara merupakan air asam yang berbahaya terhadap pencemaran lingkungan di sekitarnya. Pada konsentrasi tertentu apabila tidak diolah akan membahayakan bagi ekosistem air tawar, lingkungan hidup, dan derajat kesehatan masyarakat. Oleh karena itu pada penelitian pemanenan air dari kolam bekas tambang batubara diperlukan teknologi pengolahan air yang bersih dan ramah lingkungan. Membran merupakan teknologi yang paling tepat dan efektif untuk mengolah air asam tambang batubara untuk kebutuhan air bersih bagi masyarakat sekitar. Pemanenan air kolam bekas tambang industri batubara menjadi air minum merupakan kebaruan (*novelty*) yang diperoleh dari penelitian ini.

Penelitian bersifat eksperimental dilakukan di laboratorium Teknik Lingkungan dan Laboartorium Mar-C di Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro. Tujuan penelitian ini adalah; menganalisis pengaruh variasi tekanan operasi pada membran nanofiltrasi NF 270 terhadap fluks dan tingkat rejeksi COD, TSS, TDS dan kandungan logam Fe dan Mn, membandingkan fluks dan tingkat rejeksi air asam tambang batubara, membandingkan tingkat rejeksi hasil pengolahan air di kolam tambang batubara dengan Keputusan Menteri Kesehatan No. 907/MENKES/SK/VII/2002, dan kajian teknologi membran untuk pemanfaatan air kolam bekas tambang (*void*) terhadap pembangunan berkelanjutan.

Pengolahan air kolam bekas industri tambang batubara setelah dilakukan pengolahan dengan teknologi membran NF270 hasil tingkat rejeksi untuk wilayah Aceh Barat untuk umpan Air asam tambang asli mampu menyisihkan COD, TSS, TDS dan logam Fe, Mn berturut-turut sebesar 46–94 %, 100%, 58–77%, 99-100%, 100%. Sumatera Selatan untuk umpan air asam tambang asli mampu menyisihkan COD, TSS, TDS dan logam Fe, Mn berturut-turut sebesar 71-93%, 100%, 56-69%, 99-100%, 100%. Kalimantan Selatan untuk umpan air asam tambang mampu menyisihkan COD, TSS, TDS dan logam Fe, Mn berturut-turut sebesar 66-100%, 100%, 41-56%, 82-100%, 94-100%.

Aceh Barat memiliki tingkat rejeksi paling tinggi prosentasenya dibandingkan wilayah Kalimantan Selatan dan Sumatera Selatan. Semua hasil dari rejeksi untuk air asam tambang menghasilkan kualitas permeat yang memenuhi Baku Mutu Kepmenkes No. 907/MENKES/SK/VII/2002 Tentang Standart Kualitas Air Minum dan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 113 Tahun 2003 Tentang Air Limbah Industri Batubara. Pengolahan air asam tambang menggunakan membran nanofiltrasi NF270 pada kolam tambang batubara (*Void*) sebagai salah satu rona akhir berpotensi memberi kontribusi terhadap pembangunan berkelanjutan dari aspek ekonomi, sosial dan lingkungan. Air kolam bekas tambang yang membentuk danau-danau buatan ini juga mempunyai potensi untuk dijadikan sumber air minum berbasis masyarakat yang dibutuhkan masyarakat sekitar tambang pada masa yang akan datang.

**Kata kunci :** *air asam tambang, membrane NF270, baku mutu, pembangunan berkelanjutan*

## ABSTRACT

The former mining pool for the coal industry becomes a serious problem if it is not handled properly. Ex-coal mining pool water is acidic water which is harmful to the surrounding environment. In certain concentrations, if it is not processed, it will endanger the freshwater ecosystem, the environment, and the degree to which public health. Therefore, research on water harvesting from ex-coal mining ponds requires water treatment technology that is clean and environmentally friendly. Membranes are the most appropriate and effective technology for treating acid coal mine water for clean water needs for the surrounding community. The harvesting of former coal mining pool water into drinking water is novelty obtained from this research.

The experimental research was carried out in the Environmental Engineering Laboratory and the Mar-C Laboratory at the Diponegoro University Integrated Laboratory. The objectives of this research are; analyzing the effect of variations in operating pressure on the NF 270 nanofiltration membrane on the flux and rejection rates of COD, TSS, TDS and metal content of Fe and Mn, comparing the flux and rejection rate of acidic coal mine water, comparing the rejection rate of water treatment results in coal mining ponds with the Ministerial Decree Health No. 907 / MENKES / SK / VII / 2002, and study of membrane technology for utilization of ex-mining (void) pool water for sustainable development.

Treatment of pond water from the former coal mining industry after processing with NF270 membrane technology results from the rejection rate for the West Aceh region for feed. The original acid mine drainage was able to remove COD, TSS, TDS and Fe, Mn metals respectively by 46-94%, 100% , 58-77%, 99-100%, 100%. South Sumatra for the original acid mine drainage was able to remove COD, TSS, TDS and Fe, Mn metals by 71-93%, 100%, 56-69%, 99-100%, 100% respectively. South Kalimantan for acid mine drainage was able to remove COD, TSS, TDS and Fe, Mn metals by 66-100%, 100%, 41-56%, 82-100%, 94-100%, respectively.

West Aceh has the highest rejection rate compared to South Kalimantan and South Sumatra. All results from rejection of acid mine drainage produce permeate quality that meets the Minister of Health Decree No. Quality Standards. 907 / MENKES / SK / VII / 2002 concerning Drinking Water Quality Standards and Decree of the Minister of Environment No. 113 of 2003 concerning Coal Industry Wastewater. Acid mine water treatment using NF270 nanofiltration membranes in coal mining ponds (Void) as one of the final hues has the potential to contribute to sustainable development from economic, social and environmental aspects. The former mining pond water that forms artificial lakes also has the potential to be used as a community-based drinking water source that is needed by the community around the mine in the future.

**Key words:** *acid mine drainage, membrane NF270, quality standards, sustainable development*

## RINGKASAN

Indonesia memiliki sumber daya alam mineral yang melimpah, terutama sumberdaya alam batubara. Kegiatan penambangan yang dilakukan di daerah tersebut menggunakan teknik penambangan terbuka (*open pit mining*) sehingga banyak meninggalkan lubang-lubang bekas galian. Kolam-kolam bekas penambangan batubara telah dimanfaatkan oleh masyarakat untuk usaha kebutuhan mandi sehari-hari seperti mandi, cuci dan bahkan air minum. Kolam raksasa bekas penambangan batubara untuk wilayah Kalimantan Selatan, Sumatera Selatan dan Aceh Barat apabila musim penghujan akan berubah menjadi danau buatan yang dipenuhi oleh air hujan. Ketika musim kemarau maka air di dalam kolam bekas tambang batubara ini menjadi sumber air permukaan yang dipergunakan untuk masyarakat sekitarnya. Kolam bekas tambang batubara akan terbentuk apabila musim hujan tiba. Ketika musim hujan maka kupasan tanah dan sisa-sisa bekas penambangan batubara akan terlarut di dalamnya. Dampaknya air dalam kolam bekas batubara ini akan menjadi air asam.

Kegiatan penambangan batubara selama ini telah menciptakan kolam-kolam raksasa yang menimbulkan air asam tambang yang berpengaruh terhadap ekosistem lingkungan sekitarnya, akibat adanya perubahan struktur batuan yang diikuti dengan perubahan kualitas fisika dan kimia tanah serta air (Komarawidjaja, W. 2011). Dari permasalahan yang muncul dimasyarakat berkaitan dengan pemanfaatan air kolam bekas batubara perlu dilakukan teknologi baru dalam pengolahan air kolam tambang. Penelitian ini mencoba untuk melakukan pengolahan air kolam bekas tambang batubara menggunakan teknologi membran NF270 dan mengkaji pemanfaatan kolam bekas pasaca tambang batubara.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah: 1) Untuk menganalisis pengaruh variasi tekanan operasi pada membran nanofiltrasi NF 270 terhadap fluks dan tingkat rejeksi COD, TSS, TDS dan kandungan logam Fe dan Mn; 2) Membandingkan fluks dan tingkat rejeksi air asam tambang batubara sintetik dan air asam tambang batubara; 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) dan Mengkaji teknologi membran nanofiltrasi NF270 untuk pemanfaatan lubang bekas tambang (*void*) terhadap pembangunan berkelanjutan.

Dari hasil uji analisis air kolam bekas industri batubara untuk tiga wilayah Kalimantan Selatan, Sumatera Selatan dan Aceh Barat mempunyai pH masih diatas baku mutu (4-5). Suhu tertinggi terdapat di Kalimantan Selatan dengan suhu tertinggi sebesar 33,9 °C sementara untuk wilayah Sumatera Selatan dan Aceh Barat masih memenuhi dengan baku mutu. warna masih diatas baku mutu untuk tiga wilayah (Kalimantan Selatan, Sumatera Selatan dan Aceh Barat). COD tertinggi didapatkan di Sumatera Selatan pada sebesar 176,23 mg/L, Aceh Barat sebesar 152,82 mg/L dan Kalimantan Selatan 56,6 mg/l. TSS di wilayah Kalimantan Selatan mencapai 344,86 mg/L, Sumatera Selatan mencapai 522 mg/L, dan Aceh Barat mencapai 260 mg/l. TDS untuk ketiga wilayah mencapai kisaran rata-rata 200 mg/L. Untuk logam berat besi (Fe) untk wilayah Kalimantan Selatan mencapai 5,36 mg/L, Sumatera Selatan mencapai 9,46 mg/L dan Aceh Barat mencapai 8,94 mg/L. Untuk loga berat mangan (Mn) untuk Aceh Barat, Sumatera Selatan, dan Kalimantan Selatan mempunyai kisaran yang sama mencapai 1 mg/L.

Hasil analisis parametar COD, TSS, TDS, Fe dan Mn air di kolam bekas tambang batubara untuk tiga wilayah di Kalimantan Selatan, Sumatera Selatan dan Aceh Barat menunjukkan masih diatas baku mutu untuk dipergunakan sebagai air bersih atau air minum

berdasarkan KEPMENKES 907 Tahun 2002 Tentang Kulaitas Air Minum. Apabila dilihat dari Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 113 Tahun 2003 tentang air limbah industri tambang batubara juga masih diatas baku mutu.

Pengolahan air kolam bekas industri tambang batubara setelah dilakukan pengolahan dengan teknologi membran NF270 hasil tingkat rejeksi untuk wilayah Aceh Barat untuk umpan tunggal mampu menyisihkan COD, TSS, TDS dan logam Fe, Mn berturut-turut sebesar 62–79 %, 81,3–96%, 65–75%, 78–85%, 100%. Untuk umpan campuran air asam tambang sintetis mampu menyisihkan COD, TSS, TDS dan logam Fe, Mn berturut-turut sebesar 92–99 %, 100%, 67–88%, 100%, 100% dan untuk umpan Air asam tambang asli mampu menyisihkan COD, TSS, TDS dan logam Fe, Mn berturut-turut sebesar 46–94 %, 100%, 58–77%, 99-100%, 100%.

Sumatera Selatan untuk larutan umpan tunggal mampu menyisihkan COD, TSS, TDS dan logam Fe, Mn berturut-turut sebesar 66,5-85 %, 82,4-92%, 43-59%, 66-91%, 100%. Untuk umpan campuran air asam tambang sintetis mampu menyisihkan COD, TSS, TDS dan logam Fe, Mn berturut-turut sebesar 78-88 %, 100%, 41-60%, 100%, 100% dan untuk umpan Air asam tambang asli mampu menyisihkan COD, TSS, TDS dan logam Fe, Mn berturut-turut sebesar 71-93%, 100%, 56-69%, 99-100%, 100%.

Kalimantan Selatan untuk larutan umpan tunggal mampu menyisihkan COD, TSS, TDS dan logam Fe, Mn berturut-turut sebesar 64-76 %, 100%, 45,2-60%, 62-94%, 100%. Untuk umpan campuran air asam tambang sintetis mampu menyisihkan COD, TSS, TDS dan logam Fe, Mn berturut-turut sebesar 100%, 100%, 53-63%, 100%, 100% dan untuk umpan Air asam tambang asli mampu menyisihkan COD, TSS, TDS dan logam Fe, Mn berturut-turut sebesar 66-100%, 100%, 41-56%, 82-100%, 94-100%.

Perbandingan tingkat rejeksi untuk wilayah Aceh Barat, Sumatera Selatan dan Kalimantan Selatan diperoleh hasil sebagai berikut; Aceh Barat memiliki tingkat rejeksi paling tinggi prosentasenya dibandingkan wilayah Kalimantan Selatan dan Sumatera Selatan. Dari grafik fluks diatas sebagaimana besar dapat dilihat bahwa semakin besar tekanan yang diberikan, maka penurunan fluks yang dihasilkan akan semakin besar juga. Hal ini disebabkan karena polarisasi konsentrasi terjadi semakin cepat pada tekanan tinggi dibandingkan dengan membran yang dioperasikan pada tekanan rendah dengan waktu operasi yang sama. Semakin tinggi pH maka penurunan fluksnya semakin lambat, namun rejeksinya semakin tinggi. Penambahan asam humat memberikan pengaruh yang signifikan untuk mengadsorpsi logam berat khususnya Fe dan Mn. Semakin tinggi konsentrasi penambahan asam humat pada proses filtrasi membran NF 270 maka semakin besar pula nilai rejeksi yang dihasilkan.

Semua hasil dari rejeksi untuk air asam tambang menghasilkan kualitas permeat yang memenuhi Baku Mutu Kepmenkes No. 907/ MENKES/SK/VII/2002 Tentang Standart Kualitas Air Minum dan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 113 Tahun 2003 Tentang Air Limbah Industri Batubara. Membran NF 270 sangat berpotensi dalam pengolahan air asam tambang batubara, namun sebelumnya perlu dilakukan pre-treatment terlebih dahulu untuk menghasilkan kualitas permeat yang berkualitas. Manfaat lubang bekas tambang (*void*) terhadap pembangunan berkelanjutan dapat dilihat dari tiga aspek, yaitu; (a). ekonomi: sumber air bersih, tempat wisata, perikanan, sumber air untuk pengairan tanaman. (b). Secara sosial: meningkatnya akses kesehatan masyarakat melalui tersedianya air bersih. (c). Secara lingkungan: kualitas air sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan, sehingga akan mengembalikan fungsi lingkungan dan ekosistem.

Kolam bekas tambang batubara (*Void*) sebagai salah satu rona akhir berpotensi memberi kontribusi terhadap pembangunan berkelanjutan. Fenomena ini akan menjadi sumber cadangan air untuk memasok kekurangan air bersih masyarakat. Air kolam bekas tambang yang membentuk danau-danau buatan ini juga mempunyai potensi untuk dijadikan sumber air minum berbasis masyarakat yang dibutuhkan masyarakat sekitar tambang pada masa yang akan datang.

**Kata Kunci** : *Membrane NF270, air asam tambang, rejeksi, baku mutu, pembangunan berkelanjutan*

## SUMMARY

Indonesia has abundant mineral resources, especially coal resources. Mining activities carried out in the area use the open-pit mining technique to leave many holes that were excavated. The community has used the water in the former coal mining pools for daily needs such as bathing, washing, and even drinking water. The giant pool of former coal mining for the regions of South Kalimantan, South Sumatra, and West Aceh during the rainy season will turn into an artificial lake filled with rainwater. During the dry season, the water in the former coal-mining pool becomes a source of surface water used by the surrounding community. The former coal mining pond will form in the rainy season. During the rainy season, the soil peels, and the former coal-mining remains will dissolve in it. Resulting in the water in the former coal pool turns into acid water.

So far, coal mining activities have created giant pools that cause acid mine drainage, which affects the surrounding ecosystem, due to changes in rock structure followed by changes in the physical and chemical quality of soil and water (Komarawidjaja, 2011). From the problems that arise in the community regarding the utilization of used coal pool water, it is necessary to implement new technology in mining pool water treatment. This research tried to treat ex-coal mining pond water using NF270 membrane technology and examined the use of post-coal mining ponds.

The objectives to be achieved in this study were: 1) To analyze the effect of variations in operating pressure on the NF 270 nanofiltration membrane on the flux and rejection rates of COD, TSS, TDS, and metal content of Fe and Mn; 2) To compare the flux and rejection rates of synthetic coal mine acid water and coal mine acid water; 3) To compare the rejection rate of water treatment results in coal mining ponds using NF 270 nanofiltration membranes with the Minister of Health Decree No. 907/MENKES/SK/VII/2002; 4) To assess NF270 nanofiltration membrane technology for utilization of ex-mining pits (voids) for sustainable development.

According to the former coal industry pool water analysis results for the three regions of South Kalimantan, South Sumatra, and West Aceh, the pH was still above the quality standard (4-5). The highest temperature was in South Kalimantan with 33.9°C, while South Sumatra and West Aceh met the quality standard. The colors were still above the quality standard for the three regions (South Kalimantan, South Sumatra, and West Aceh). The highest COD was found in South Sumatra at 176, 23 mg / L, West Aceh at 152.82 mg / L, and South Kalimantan at 56.6 mg / l. TSS in the South Kalimantan region reached 344.86 mg / L, South Sumatra reached 522 mg / L, and West Aceh reached 260 mg / l. TDS for the three regions reached a mean range of 200 mg / L. The heavy metal iron (Fe) for the South Kalimantan region reached 5.36 mg / L, South Sumatra reached 9.46 mg / L, and West Aceh reached 8.94 mg / L. For the heavy metal of manganese (Mn), West Aceh, South Sumatra, and South Kalimantan had the same range of up to 1 mg / L.

The results of COD, TSS, TDS, Fe, and Mn analysis of acid mine drainage for three regions, South Kalimantan, South Sumatra, and West Aceh, showed that they were still above the quality standard to use as clean water or drinking water based on Minister of Health Decree No. 907 of 2002 concerning the quality of drinking water. Based on the Decree of the State Minister for the Environment No. 113 of 2003 concerning coal mining industry wastewater, it was still above the quality standard.

The treatment of pond water from the former coal mining industry after processed with NF270 membrane technology, the results of the rejection rate for the West Aceh region, for a single feed, the treatment was able to remove COD, TSS, TDS, and Fe, Mn metals respectively by 62-79%, 81.3-96 %, 65-75%, 78-85%, 100%. For the mixture of synthetic acid mining water feed, it was able to remove COD, TSS, TDS, and metal Fe, Mn as much as 92-99%, 100%, 67-88%, 100%, 100%, and for the original acid mine drainage feed, COD, TSS, TDS and Fe, Mn metals of 46-94%, 100%, 58-77%, 99-100%, 100% were removed.

Single solution feed from South Sumatra was treated using membrane technology, and it was able to remove COD, TSS, TDS, and Fe, Mn by 66.5-85%, 82.4-92%, 43-59%, 66-91%, 100%, respectively. On the other hand, for the mixture of synthetic acid mine drainage feed, it removed COD, TSS, TDS and Fe, Mn respectively of 78-88%, 100%, 41-60%, 100%, 100%. The original acid mine drainage feed was removed its COD, TSS, TDS, and Fe, Mn content for 71-93%, 100%, 56-69%, 99-100%, and 100%, respectively.

As of the feed from South Kalimantan, the single feed solution was treated to remove its COD, TSS, TDS, and Fe, Mn content by 64-76%, 100%, 45.2-60%, 62-94%, 100%. For the mixture of synthetic acid mine drainage feed, the COD, TSS, TDS, and Fe, Mn was removed by 100%, 100%, 53-63%, 100%, 100%, and for the original acid mine drainage feed, the technology removed the COD, TSS, TDS and Fe, Mn by 66-100%, 100%, 41-56%, 82-100%, 94-100%.

Comparison of rejection rates for the regions of West Aceh, South Sumatra, and South Kalimantan resulted as follows; West Aceh had the highest rejection rate compared to South Kalimantan and South Sumatra. From the flux profile, it can be seen that the greater the pressure applied, the more significant the decrease in the resulting flux. This phenomenon was because the concentration polarization occurred faster at high pressure than membranes operated at low pressure with the same operating time. The higher the pH, the slighter the decrease in flux, but the higher the rejection. The addition of humic acid had a significant effect on adsorbing heavy metals, mainly Fe and Mn. The higher the concentration of humic acid addition in the membrane filtration process of NF 270, the greater the resulting rejection rate.

All the quality test results from acid mine drainage permeate met the Minister of Health Decree No. 907/MENKES/SK/VII/2002 concerning the drinking water quality standards and Decree of the Minister of Environment No. 113 of 2003 concerning coal industry wastewater. The NF 270 membrane has excellent potential in treating acid mine drainage; however, it is necessary to pretreat it first to produce a better quality permeate. The

benefits of ex-mining pits (void) for sustainable development can be seen from three aspects, namely; (a) Economic: clean water sources, tourist attractions, fisheries, water sources for irrigating crops. (b) Social: increasing access to public health through the availability of clean water. (c) Environmental: water quality is under established quality standards. Thus it will restore the function of the environment and ecosystem.

Ex-coal mining pond (void) as one of the final hues can contribute to sustainable development. This phenomenon will become a water reservoir source to supply the community's lack of clean water. The ex-mining pond water that forms these artificial lakes also can be used as a community-based drinking water source that is needed by the community around the mine in the future.

**Keywords:** *NF270 membrane, acid mine drainage, rejection, quality standar, sustainable development*