

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan dari data hasil pemeriksaan oleh Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Piyungan, 12 Desember 2005 (pada Tabel 1.1) diketahui kandungan besi (Fe) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) didalam air limbah lindi sebelum masuk ke kolam pengolahan memiliki nilai konsentrasi melebihi ambang batas yang ditetapkan sebagaikadar maksimal yang diperbolehkan bagi limbah cair lindi, sehingga perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum air limbah dibuang ke lingkungan. Hal ini diharapkan agar limbah cair lindi tidak menyebabkan pencemaran lingkungan, antara lain penurunan kualitas air tanah disekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Piyungan.

Dalam penelitian menggunakan reaktor membran keramik ini, peneliti mencoba untuk mengolah dan memeriksa air limbah lindi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Piyungan sehingga diharapkan air hasil pengolahan dapat memenuhi standar kualitas bagi air limbah lindi. Untuk penelitian menggunakan reaktor membran keramik ini digunakan air limbah lindi yang diambil dari kolam pengolahan terakhir yang ada di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Piyungan, dengan nilai konsentrasi besi (Fe) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) masih melebihi kadar maksimal yang diperbolehkan bagi air limbah lindi.



#### 4.1. Hasil Penelitian

Hasil dari penelitian pengolahan limbah lindi sampah domestik dengan menggunakan teknologi membran keramik, yaitu dengan parameter besi (Fe) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) ditampilkan berikut ini.

##### 4.1.1. Konsentrasi Besi (Fe)

Pada pelaksanaannya percobaan dilakukan sebanyak tiga kali. Hal tersebut dikarenakan adanya variasi komposisi dari serbuk gergaji pada membran keramik, yaitu 5%, 7.5%, dan 10%.

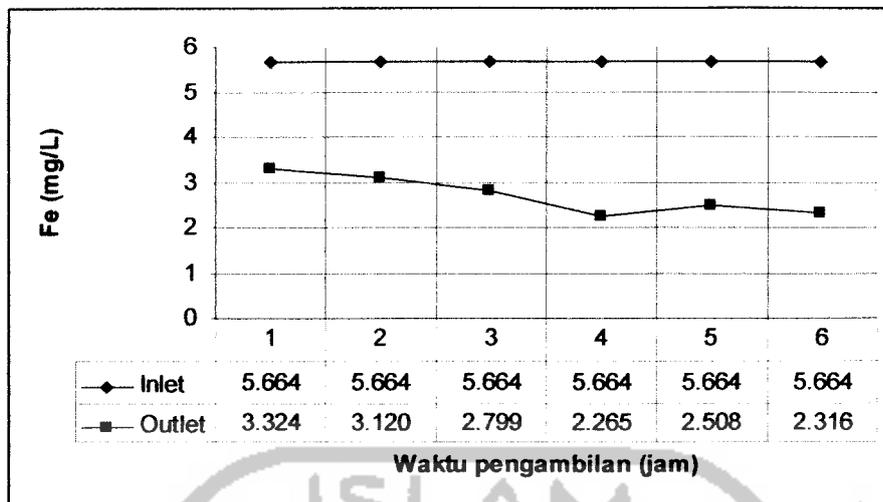
Hasil penelitian yang menunjukkan efisiensi dari membran keramik terhadap penurunan konsentrasi besi (Fe) dapat dilihat pada Tabel 4.1 sampai dengan Tabel 4.3 dengan grafik hubungan antara konsentrasi besi (Fe) pada inlet dan outlet yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 sampai dengan Gambar 4.3 dibawah ini :

**Tabel 4.1** Hasil penelitian Fe dengan membran keramik 5%

Waktu (menit)	Inlet (mg/L)	Outlet (mg/L)	% Removal
60	5.664	3.324	41.31
120	5.664	3.120	44.92
180	5.664	2.799	50.58
240	5.664	2.265	60.01
300	5.664	2.508	55.72
360	5.664	2.316	59.11
Rata-rata	5.664	2.722	51.94

Sumber: Hasil analisa laboratorium kualitas air Jurusan Teknik Lingkungan UIN

Hasil penelitian dengan membran keramik 5% dalam bentuk grafik akan ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



**Gambar 4.1** Konsentrasi Fe pada inlet dan outlet dalam tiap jam pengambilan sampel pada membran keramik 5%

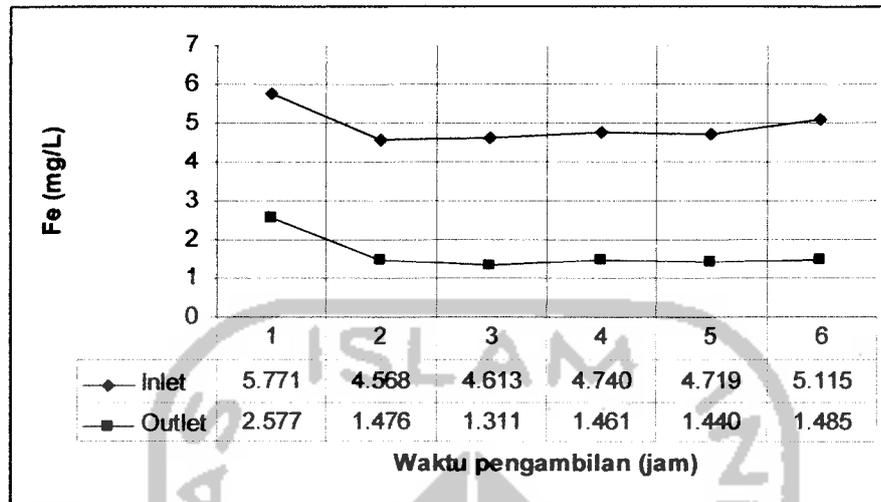
Pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.1 diatas dapat dilihat terjadinya penurunan dan kenaikan konsentrasi besi (Fe) pada outlet. Terjadi penurunan konsentrasi besi (Fe) mulai dari menit ke-60 sampai pada menit ke-240. Pada menit ke-300 terjadi kenaikan konsentrasi besi (Fe), dan terjadi penurunan konsentrasi besi (Fe) lagi pada menit ke-360.

**Tabel 4.2** Hasil penelitian Fe dengan membran keramik 7.5%

Waktu (menit)	Inlet (mg/L)	Outlet (mg/L)	% Removal
60	5.771	2.577	55.35
120	4.568	1.476	67.69
180	4.613	1.311	71.58
240	4.740	1.461	69.18
300	4.719	1.440	69.49
360	5.115	1.485	70.97
Rata-rata	4.921	1.625	67.37

Sumber: Hasil analisa laboratorium kualitas air Jurusan Teknik Lingkungan UII

Hasil penelitian dari membran keramik 7.5% disajikan dalam bentuk grafik pada gambar dibawah ini :



**Gambar 4.2** Konsentrasi Fe pada inlet dan outlet dalam tiap jam pengambilan sampel pada membran keramik 7.5%

Pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.2 diatas dapat dilihat terjadinya penurunan dan kenaikan konsentrasi besi (Fe) baik pada inlet maupun pada outlet. Pada inlet, terjadi penurunan nilai konsentrasi besi (Fe) pada menit ke-120 dan pada menit ke-180 sampai pada menit ke-360 konsentrasi besi (Fe) terus mengalami kenaikan.

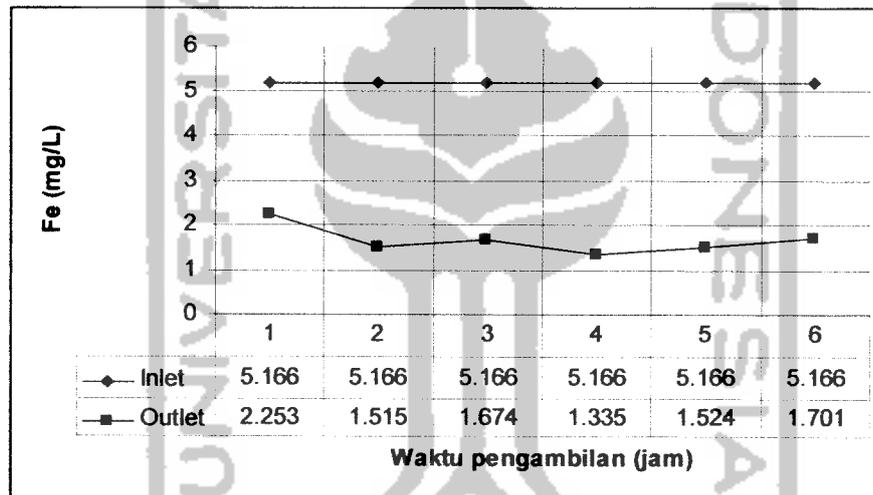
Pada outlet terjadi penurunan konsentrasi besi (Fe) mulai dari menit ke-60 sampai pada menit ke-180. Pada menit ke-240 terjadi kenaikan konsentrasi besi (Fe). Pada menit ke-300 terjadi penurunan konsentrasi besi (Fe) lagi, dan menit ke-360 kembali mengalami kenaikan konsentrasi besi (Fe).

**Tabel 4.3** Hasil penelitian Fe dengan membran keramik 10%

Waktu (menit)	Inlet (mg/L)	Outlet (mg/L)	% Removal
60	5.166	2.253	56.39
120	5.166	1.515	70.67
180	5.166	1.674	67.60
240	5.166	1.335	74.16
300	5.166	1.524	70.50
360	5.166	1.701	67.07
Rata-rata	5.166	1.667	67.73

Sumber: Hasil analisa laboratorium kualitas air Jurusan Teknik Lingkungan UII

Hasil penelitian dari membran keramik 10% pada Tabel 4.3 diatas akan disajikan dalam bentuk grafik pada gambar dibawah ini :



**Gambar 4.3** Konsentrasi Fe pada inlet dan outlet dalam tiap jam pengambilan sampel pada membran keramik 10%

Pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.3 diatas dapat dilihat terjadinya penurunan dan kenaikan konsentrasi besi (Fe) pada outlet. Terjadi penurunan konsentrasi besi (Fe) mulai dari menit ke-60 sampai pada menit ke-240, dan pada menit ke-300 sampai pada menit ke-360 terjadi kenaikan konsentrasi besi (Fe).

#### 4.1.2. Konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Pada pelaksanaannya percobaan dilakukan sebanyak tiga kali. Hal tersebut dikarenakan adanya variasi komposisi dari serbuk gergaji pada membran keramik, yaitu 5%, 7.5%, dan 10%.

Hasil penelitian yang menunjukkan efisiensi dari membran keramik terhadap penurunan konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) dapat dilihat pada Tabel 4.4 sampai dengan Tabel 4.6 dengan grafik hubungan antara konsentrasi besi (Fe) pada inlet dan outlet yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 sampai dengan Gambar 4.6 dibawah ini :

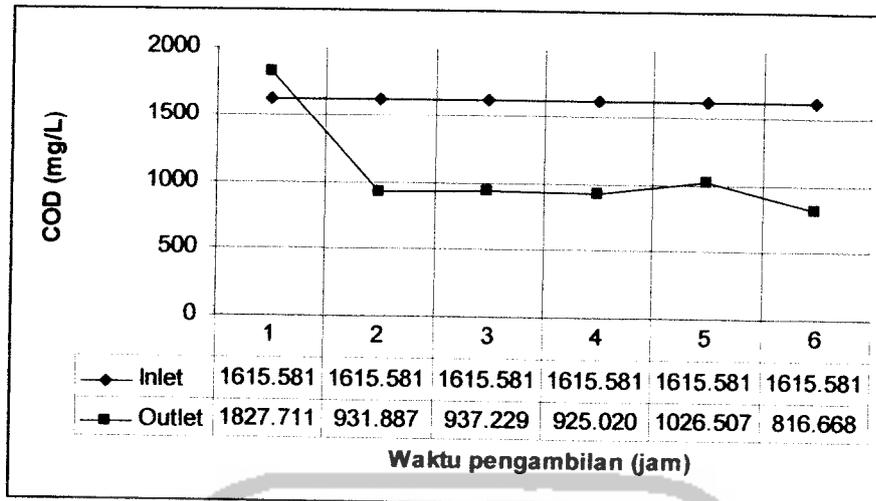
**Tabel 4.4** Hasil percobaan COD dengan membran keramik 5%

Waktu (menit)	Inlet (mg/L)	Outlet (mg/L)	% Removal
60	1615.581	1827.711	-13.13
120	1615.581	931.887	42.32
180	1615.581	937.229	41.99
240	1615.581	925.020	42.74
300	1615.581	1026.507	36.46
360	1615.581	816.668	49.45
Rata-rata	1615.581	1077.504	42.59*

Sumber: Hasil analisa laboratorium kualitas air Jurusan Teknik Lingkungan UII

\* Nilai rata-rata diperoleh dari % removal yang bernilai positif

Hasil penelitian dengan membran keramik 5% dalam bentuk grafik akan ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



**Gambar 4.4** Konsentrasi COD pada inlet dan outlet dalam tiap jam pengambilan sampel pada membran keramik 5%

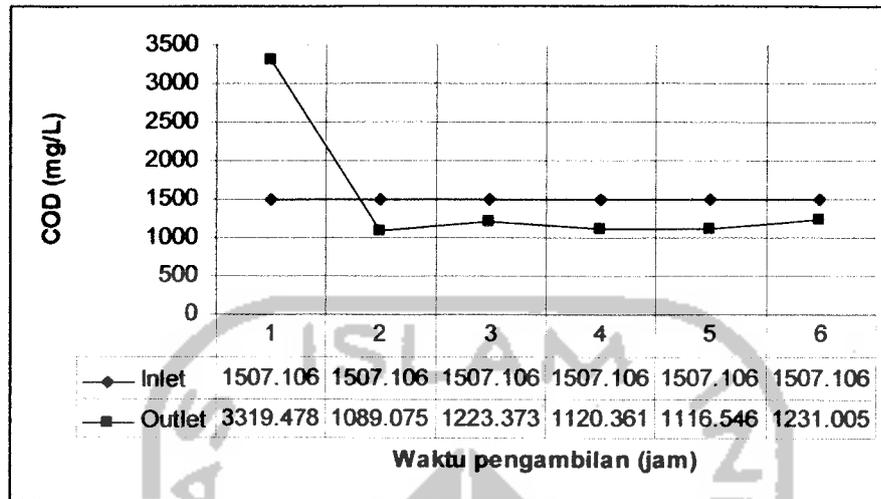
Pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.4 diatas dapat dilihat terjadinya penurunan dan kenaikan konsentrasi COD pada outlet. Pada menit ke-60 nilai COD pada outlet yang dihasilkan sangat tinggi, bahkan lebih tinggi dari nilai COD pada inlet. Pada menit ke-120 sampai pada menit ke-180 terjadi penurunan konsentrasi COD. Pada menit ke-240 konsentrasi COD naik, dan turun kembali pada menit ke-300. Pada menit ke-360 terjadi kenaikan konsentrasi COD lagi.

**Tabel 4.5** Hasil percobaan COD dengan membran keramik 7.5%

Waktu (menit)	Inlet (mg/L)	Outlet (mg/L)	% Removal
60	1507.106	3319.478	-120.26
120	1507.106	1089.075	27.74
180	1507.106	1223.373	18.83
240	1507.106	1120.361	25.66
300	1507.106	1116.546	25.91
360	1507.106	1231.005	18.32
Rata-rata	1507.106	1516.640	23.29*

Sumber: Hasil analisa laboratorium kualitas air Jurusan Teknik Lingkungan UII  
 \* Nilai rata-rata diperoleh dari % removal yang bernilai positif

Hasil penelitian dari membran keramik 7.5% disajikan dalam bentuk grafik pada gambar dibawah ini :



**Gambar 4.5** Konsentrasi COD pada inlet dan outlet dalam tiap jam pengambilan sampel pada membran keramik 7.5%

Pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.5 diatas dapat dilihat terjadinya penurunan dan kenaikan konsentrasi COD outlet. Pada menit ke-60 nilai COD pada outlet yang dihasilkan sangat tinggi, bahkan lebih tinggi dari nilai COD pada inlet. Pada menit ke-120 terjadi penurunan konsentrasi COD. Pada menit ke-180 konsentrasi COD naik. Pada menit ke-240 sampai pada menit ke-300 konsentrasi COD turun, dan terjadi kenaikan kembali pada menit ke-360.

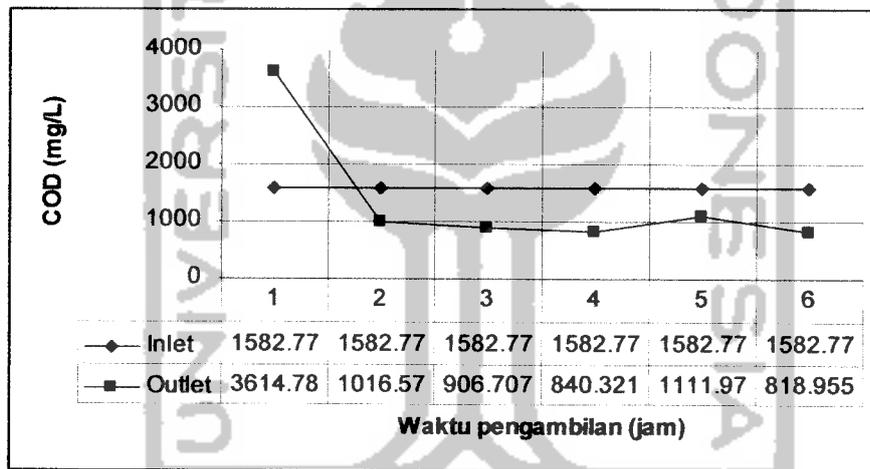
**Tabel 4.6** Hasil percobaan COD dengan membran keramik 10%

Waktu (menit)	Inlet (mg/L)	Outlet (mg/L)	% Removal
60	1582.772	3614.778	-128.38
120	1582.772	1016.568	35.77
180	1582.772	906.707	42.71
240	1582.772	840.321	46.91
300	1582.772	1111.968	29.75
360	1582.772	818.955	48.26
Rata-rata	1582.772	1384.883	23.32*

Sumber: Hasil analisa laboratorium kualitas air Jurusan Teknik Lingkungan UII

\* Nilai rata-rata diperoleh dari % removal yang bernilai positif

Hasil penelitian dari membran keramik 10% pada Tabel 4.6 diatas akan disajikan dalam bentuk grafik pada gambar dibawah ini :



**Gambar 4.6** Konsentrasi COD pada inlet dan outlet dalam tiap jam pengambilan sampel pada membran keramik 10%

Pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.6 diatas dapat dilihat terjadinya penurunan dan kenaikan konsentrasi COD pada outlet. Pada menit ke-60 nilai COD pada outlet yang dihasilkan sangat tinggi, bahkan lebih tinggi dari nilai COD pada inlet. Pada menit ke-120 sampai pada menit ke-240 terjadi penurunan konsentrasi COD.

Pada menit ke-300 konsentrasi COD naik, dan mengalami penurunan kembali pada menit ke-360.

#### 4.2. Analisa Data Penelitian

Pengolahan untuk data lebih dari dua sampel sebaiknya menggunakan Uji ANOVA dengan asumsi populasi-populasi yang akan diuji berdistribusi normal, varians dari populasi-populasi tersebut adalah sama, serta sampel tidak berhubungan satu dengan yang lain. Uji ini dilakukan untuk mengetahui apakah rata-rata nilai dari semua variasi memiliki perbedaan yang signifikan antara konsentrasi besi (Fe) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada inlet dengan konsentrasi besi (Fe) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada outlet.

Analisis ini merupakan pendekatan yang memungkinkan digunakannya data sampel untuk menguji apakah nilai dari dua atau lebih rerata populasi yang tidak diketahui adalah sama (Damanhuri, 2001).

Pada analisa *Analysis Of Varietas* (ANOVA) ini diketahui :

- Probabilitas  $< 0.05$  maka  $H_0$  ditolak

Artinya adalah ada perbedaan yang signifikan antara konsentrasi inlet dan outlet pada penelitian yang dilakukan.

- Probabilitas  $> 0.05$  maka  $H_0$  diterima

Artinya adalah tidak ada perbedaan yang signifikan antara konsentrasi inlet dan outlet pada penelitian yang dilakukan.

#### 4.2.1. Analisa Data Besi (Fe)

Ringkasan statistik dari uji metode *Analysis Of Varietas* (ANOVA) terhadap data nilai besi (Fe) pada membran keramik 5%, 7.5%, dan 10% dapat dilihat pada Tabel dibawah ini :

**Tabel 4.7** *Descriptive* untuk nilai besi (Fe)

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
inlet 5%	6	5.66400	.000000	.000000	5.66400	5.66400	5.664	5.664
Outlet 5%	6	2.72200	.435021	.177597	2.26547	3.17853	2.265	3.324
Inlet 7,5%	6	4.92100	.458950	.187365	4.43936	5.40264	4.568	5.771
Outlet 7,5%	6	1.62500	.470706	.192165	1.13102	2.11898	1.311	2.577
Inlet 10 %	6	5.16600	.000000	.000000	5.16600	5.16600	5.166	5.166
Outlet 10 %	6	1.66700	.315714	.128890	1.33568	1.99832	1.335	2.253
Total	36	3.62750	1.730164	.288361	3.04210	4.21290	1.311	5.771

*Test of Homogeneity* dilakukan untuk menguji berlaku atau tidaknya asumsi pada ANOVA, yaitu apakah keenam sampel mempunyai varians yang sama. Adapun hasil perhitungan probabilitas dengan tes homogenitas varians dapat dilihat pada Tabel 4.8 dibawah ini :

**Tabel 4.8** Homogenitas variansi untuk nilai besi (Fe)

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.091	5	30	.006

#### Hipotesis :

$H_0$  : Keenam varians populasinya identik

$H_1$  : Keenam varians populasinya tidak identik

**Pengambilan keputusan :**

- Jika probabilitas < 0,05, maka  $H_0$  ditolak
- Jika probabilitas > 0,05 ,maka  $H_0$  diterima

Dari Tabel 4.8 terlihat bahwa *Levene Test* hitung adalah 4.091, dengan nilai probabilitas 0.006. Oleh karena probabilitas < 0.05, maka  $H_0$  ditolak, atau keenam varians adalah tidak identik.

Setelah keenam varians telah terbukti tidak identik maka asumsi untuk ANOVA tidak berlaku (asumsi keenam sampel memiliki varians yang sama). Sedangkan untuk menguji apakah keenam sampel mempunyai rata-rata (Mean) yang sama, maka uji ANOVA (Analysis of Variance) dilakukan. Hasil analisis dengan menggunakan ANOVA dapat dilihat pada Tabel 4.9 dibawah ini :

**Tabel 4.9** *Analysis of Variances* (ANOVA) untuk nilai besi (Fe)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	101.166	5	20.233	168.348	.000
Within Groups	3.606	30	.120		
Total	104.771	35			

**Hipotesis :**

$$H_0 : \text{Mean}_1 = \text{Mean}_2$$

$$H_1 : \text{Mean}_1 \neq \text{Mean}_2$$

**Pengambilan keputusan :**

- a) Berdasarkan Perbandingan F hitung dengan F Tabel :
- Jika F hitung < F tabel, maka  $H_0$  diterima
  - Jika F hitung > F tabel, maka  $H_0$  ditolak

b) Berdasarkan nilai probabilitas :

- Jika probabilitas  $< 0,05$ , maka  $H_0$  ditolak
- Jika probabilitas  $> 0,05$ , maka  $H_0$  diterima

Berdasarkan Tabel 4.9 diatas maka dapat terlihat bahwa F hitung adalah 168.348 dengan probabilitas 0.000. Oleh karena probabilitas  $< 0.05$ , maka  $H_0$  ditolak atau berarti ada perbedaan yang signifikan antara nilai rata-rata besi (Fe) pada inlet dengan nilai rata-rata besi (Fe) pada outlet.

#### 4.2.2. Analisa Data *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Uji statistik metode *Analysis Of Varietas* (ANOVA) terhadap data nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada membran keramik 5%, 7.5%, dan 10% hanya dilakukan terhadap hasil yang memberikan nilai removal positif, dapat dilihat pada Tabel dibawah ini :

**Tabel 4.10** *Descriptive* untuk nilai COD

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
inlet 5%	5	1615.58100	.000000	.000000	1615.58100	1615.58100	1615.581	1615.581
outlet 5%	5	927.46220	74.508658	33.321285	834.94748	1019.97692	816.668	1026.507
inlet 7.5%	5	1507.10600	.000000	.000000	1507.10600	1507.10600	1507.106	1507.106
outlet 7.5%	5	1156.07200	66.088118	29.555505	1074.01276	1238.13124	1089.075	1231.005
inlet 10%	5	1582.77200	.000000	.000000	1582.77200	1582.77200	1582.772	1582.772
outlet 10%	5	938.90380	123.618225	55.283751	785.41150	1092.39610	818.955	1111.968
Total	30	1287.98283	302.754156	55.275093	1174.93257	1401.03309	816.668	1615.581

*Test of Homogeneity* dilakukan untuk menguji berlaku atau tidaknya asumsi pada ANOVA, yaitu apakah keenam sampel mempunyai varians yang sama. Adapun hasil perhitungan probabilitas dengan tes homogenitas varians dapat dilihat pada Tabel 4.11 dibawah ini :

**Tabel 4.11** Homogenitas variansi untuk nilai COD

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
8.490	5	24	.000

**Hipotesis :**

$H_0$  : Keenam varians populasinya identik

$H_1$  : Keenam varians populasinya tidak identik

**Pengambilan keputusan :**

- Jika probabilitas  $< 0,05$ , maka  $H_0$  ditolak
- Jika probabilitas  $> 0,05$  ,maka  $H_0$  diterima

Dari Tabel 4.8 terlihat bahwa *Levene Test* hitung adalah 4.156, dengan nilai probabilitas 0.000. Oleh karena probabilitas  $< 0.05$ , maka  $H_0$  ditolak, atau keenam varians adalah tidak identik.

Setelah kelima varians telah terbukti tidak identik maka asumsi untuk ANOVA tidak berlaku (asumsi keenam sampel memiliki varians yang sama). Sedangkan untuk menguji apakah keenam sampel mempunyai rata-rata (Mean) yang sama, maka uji ANOVA (Analysis of Variance) dilakukan. Hasil analisis dengan menggunakan ANOVA dapat dilihat pada Tabel 4.12 dibawah ini :

**Tabel 4.12** *Analysis of Variances* (ANOVA) untuk nilai COD

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2557339.701	5	511467.940	121.775	.000
Within Groups	100802.580	24	4200.108		
Total	2658142.282	29			

**Hipotesis :**

$$H_0 : \text{Mean}_1 = \text{Mean}_2$$

$$H_1 : \text{Mean}_1 \neq \text{Mean}_2$$

**Pengambilan keputusan :**

c) Berdasarkan Perbandingan F hitung dengan F Tabel :

- Jika F hitung < F tabel, maka  $H_0$  diterima
- Jika F hitung > F tabel, maka  $H_0$  ditolak

d) Berdasarkan nilai probabilitas :

- Jika probabilitas < 0,05, maka  $H_0$  ditolak
- Jika probabilitas > 0,05, maka  $H_0$  diterima

Berdasarkan Tabel 4.12 diatas maka dapat terlihat bahwa F hitung adalah 121.775 dengan probabilitas 0.000. Oleh karena probabilitas < 0.05, maka  $H_0$  ditolak atau berarti ada perbedaan yang signifikan antara nilai rata-rata *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada inlet dengan nilai rata-rata *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada outlet.

### 4.3. Analisa Porositas Membran Keramik

Uji porositas membran keramik yang dilakukan di laboratorium Badan Teknologi Atom Nuklir (BATAN) diperoleh hasil pada Tabel 4.13 berikut :

**Tabel 4.13** Hasil uji porositas dan diameter pori membran keramik

Membran keramik	R (angstrom)	Diameter pori (meter)	Diameter pori (mikron)
Variasi 5 %	17.520775	$3.50416 \times 10^{-9}$	$35.0416 \times 10^{-4}$
Variasi 7.5 %	17.201323	$3.44026 \times 10^{-9}$	$34.4026 \times 10^{-4}$
Variasi 10 %	16.945902	$3.38918 \times 10^{-9}$	$33.8918 \times 10^{-4}$

### 4.4. Pembahasan

Dari penelitian yang dilakukan untuk menguji efektifitas teknologi membran keramik dalam menurunkan konsentrasi besi (Fe) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) dalam air limbah lindi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Piyungan, dengan sistem mengalirkan air limbah yang bertekanan dengan titik pengambilan sampel yaitu pada inlet dan outlet. Sehingga diperoleh hasil seperti yang terdapat pada Tabel 4.1, sampai dengan Tabel 4.6. Pengambilan sampel dilakukan berdasarkan variasi waktu 60 menit, 120 menit, 180 menit, 240 menit, 300 menit, dan 360 menit pada reaktor membran keramik sebanyak tiga kali, menurut variasi komposisi dari serbuk gergaji pada membran keramik tersebut, yaitu 5%, 7.5%, dan 10%.

Konsentrasi serbuk gergaji sebesar 10% yang digunakan pada pembuatan membran keramik merupakan konsentrasi maksimal yang dapat digunakan, dimana plastisitas tanah masih dapat dipergunakan untuk membentuk keramik.

Pada pelaksanaannya, limbah lindi dari sampah domestik Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Piyungan dilakukan pengenceran sebanyak tiga kali. Hal ini bertujuan untuk mengurangi resiko penyumbatan (*clogging*) pada reaktor membran keramik yang disebabkan oleh limbah lindi yang terlalu pekat.

Untuk selanjutnya akan dibahas mengenai kenaikan dan penurunan konsentrasi masing-masing parameter yaitu sebagai berikut :

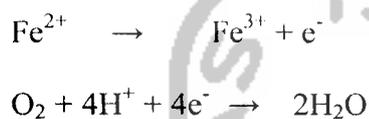
#### 4.4.1. Penurunan Konsentrasi Besi (Fe)

Berdasarkan hasil penelitian yang disajikan dalam bentuk data seperti yang terdapat pada Tabel 4.1 sampai dengan Tabel 4.3 dapat dilihat terjadinya penurunan dan kenaikan konsentrasi besi (Fe).

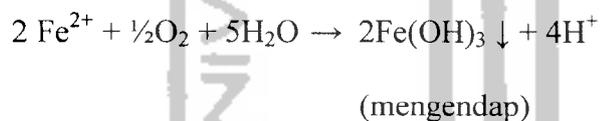
Dari rata-rata data hasil penelitian terjadi penurunan konsentrasi besi (Fe) yaitu 51.94% pada reaktor membran keramik 5% dengan konsentrasi awal (inlet) 5.664 mg/L dan konsentrasi akhir (outlet) 2.722 mg/L, 67.37% pada reaktor membran keramik 7.5% dengan konsentrasi awal (inlet) 4.921 mg/L dan konsentrasi akhir (outlet) 1.625 mg/L, dan 67.73% pada reaktor membran keramik 10% dengan konsentrasi awal (inlet) 5.166 mg/L dan konsentrasi akhir (outlet) 1.667 mg/L.

Hasil yang diperoleh dari penelitian, selanjutnya dilakukan uji data statistik menggunakan uji *Analysis Of Varietas* (ANOVA) satu jalur, dimana menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi rata-rata besi (Fe) adalah terjadi perbedaan yang signifikan antara inlet dan outlet Hal tersebut menunjukkan bahwa pada penelitian yang dilakukan memiliki nilai removal yang tinggi.

Pemeriksaan pada reaktor membran keramik dilakukan terhadap besi (Fe) total. Hal ini dikarenakan didalam air, besi (Fe) berada dalam bentuk  $Fe^{2+}$  berupa senyawa yang larut dan tidak berwarna, dan besi (Fe) berada dalam bentuk ion  $Fe^{3+}$  yang berupa partikel dan tidak larut dalam air. Senyawa-senyawa inilah yang menimbulkan bau tidak sedap dan air menjadi berwarna coklat. Reaksi oksidasi ion ferro ( $Fe^{2+}$ ) dengan oksigen menjadi ion ferri ( $Fe^{3+}$ ) ditunjukkan dalam persamaan berikut :



Didalam air partikel besi (Fe) juga akan dirubah menjadi  $Fe(OH)_3$ .  $Fe(OH)_3$  terbentuk karena adanya oksigen terlarut yang mengubah Fe menjadi komponen yang tidak larut, dengan reaksi :



Penurunan konsentrasi besi (Fe) yang terjadi pada penelitian ini adalah karena adanya proses filtrasi, sedimentasi dan adsorpsi besi (Fe). Proses filtrasi adalah terjadinya penyaringan besi (Fe) yang telah berada dalam bentuk endapan yaitu  $Fe^{3+}$  ataupun  $Fe(OH)_3$  yang tidak larut didalam air.

Oksigen terlarut yang merupakan sebagai oksidator utama dalam mengoksidasi besi (Fe) menjadi  $Fe^{3+}$  ataupun  $Fe(OH)_3$  didapat dari adanya udara yang masuk pada bak penampungan inlet. Hal ini terjadi karena adanya proses

aerasi yang secara tidak sengaja dari selang aliran air yang berfungsi untuk mencegah terjadinya aliran balik pada reaktor. Adanya proses aerasi inilah yang menyebabkan berubah-ubahnya nilai besi (Fe) pada inlet, seperti yang terdapat pada Tabel 4.2, hasil percobaan dengan membran keramik 7.5%.

Penurunan konsentrasi besi (Fe) yang terjadi sebagian besar disebabkan adanya proses adsorpsi oleh membran keramik. Membran keramik memiliki ruang pori yang sangat banyak yang nantinya akan menyerap  $Fe^{3+}$  dan menahannya, sehingga partikel besi akan melekat pada dinding pori membran keramik. Semakin banyak pori-pori yang ada didalam membran keramik maka luas permukaannya akan menjadi semakin besar, sehingga membran keramik akan semakin efektif untuk mengadsorpsi  $Fe^{3+}$ .

Diketahui bahwa ukuran dari partikel Fe adalah  $1.48 \times 10^{-4}$  mikron. Dan hasil uji porositas serta perhitungan diameter pori-pori dari Tabel 4.13, diperoleh diameter pori pada membran keramik 5 % adalah  $35.0416 \times 10^{-4}$  mikron, membran keramik 7.5 % adalah  $34.4026 \times 10^{-4}$  mikron, dan membran keramik 10% adalah  $33.8918 \times 10^{-4}$  mikron. Jika dibandingkan antara ukuran partikel Fe dengan diameter pori-pori membran keramik yang diperoleh, maka kecilnya ukuran partikel Fe menyebabkan partikel Fe dapat lolos dari proses filtrasi membran keramik. Hal inilah yang menjadikan proses removal besi (Fe) tidak bisa terjadi secara maksimal, yaitu sampai dengan 100%.

Pada penelitian ini, diketahui bahwa nilai efisiensi dari membran keramik yang paling baik dalam menurunkan konsentrasi besi (Fe) pada limbah cair lindi adalah membran keramik dengan konsentrasi serbuk gergaji 10%, dengan

konsentrasi besi (Fe) yang dihasilkan telah memenuhi standar baku mutu kualitas limbah cair dalam Keputusan Gubernur Kepala Daerah Istimewa Yogyakarta No : 214/ KPTS/ 1991. Hal ini dikarenakan pada reaktor membran keramik 10% tersebut memiliki pori-pori yang lebih banyak dan diameter pori yang lebih kecil daripada reaktor membran keramik 7.5% dan 5%. Sehingga membran keramik dengan komposisi serbuk gergaji 10% luas permukaan menjadi semakin luas.

Pada akhirnya pori-pori yang terdapat pada membran keramik akan terisi penuh oleh partikel-partikel yang diserap, sehingga terciptalah kondisi jenuh. Namun pada penelitian ini, tidak dijumpai adanya kondisi jenuh. Hal ini dikarenakan pada saat pengaliran air limbah melalui reaktor membran keramik (*running*) sampai pada menit ke-360, reaktor masih dapat menurunkan konsentrasi besi (Fe) dengan baik. Sehingga pada penelitian terhadap membran keramik dengan variasi waktu sampai 360 menit ini belum ditemukan waktu yang optimum.

#### **4.4.2. Penurunan Konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD)**

Berdasarkan hasil penelitian pada Tabel 4.4 sampai dengan Tabel 4.6, menunjukkan bahwa penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada setiap penelitian memberi hasil yang berbeda-beda, berdasarkan variasi reaktor dan waktu pengambilan sampel.

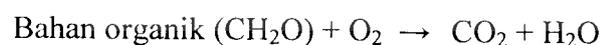
Dari rata-rata data hasil penelitian terjadi penurunan konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) yaitu 42.59% pada reaktor membran keramik 5% dengan konsentrasi awal (inlet) 1615.581 mg/L dan konsentrasi akhir (outlet) 1077.504

mg/L, 23.29% pada reaktor membran keramik 7.5% dengan konsentrasi awal (inlet) 1507.11 mg/L dan konsentrasi akhir (outlet) 1516.64 mg/L, dan 23.32% pada reaktor membran keramik 10% dengan konsentrasi awal (inlet) 1582.77 mg/L dan konsentrasi akhir (outlet) 1384.88 mg/L.

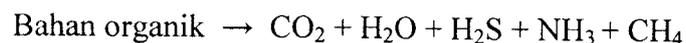
Penurunan konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada membran keramik disebabkan oleh adanya proses filtrasi dan pengendapan terhadap limbah cair lindi. Proses filtrasi terjadi karena adanya endapan dari zat suspensi organik dan partikel-partikel pencemar lainnya pada membran keramik. COD soluble yang meliputi endapan *Total Suspended Solid* (TSS) dan partikel koloid akan melekat pada membran keramik. Karena beban pencemar berkurang, maka kebutuhan akan oksigen terlarut untuk mengoksidasi zat organik didalam air limbah lindi juga berkurang.

Pada kondisi air limbah dengan jumlah oksigen yang cukup, maka proses penguraian bahan organik akan berjalan secara aerobik. Namun apabila suplai oksigen tidak sesuai (kurang) dengan yang dibutuhkan untuk menguraikan bahan organik maka akan terjadi penguraian anaerobik.

Mekanisme penguraian zat organik pada kondisi aerobik didalam air limbah lindi yang terjadi adalah :



Dan mekanisme penguraian zat organik pada kondisi anaerobik adalah :



Penelitian ini memberikan hasil adanya nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang sangat tinggi pada outlet reaktor membran keramik di setiap menit ke-60. Nilai tersebut lebih tinggi dari pada nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada inlet reaktor membran keramik. Tingginya nilai outlet pada setiap menit ke-60 disebabkan karena zat organik yang terdapat pada tanah lempung, dan atau material lain sebagai bahan pembuat membran keramik ikut terbawa pada aliran outlet, sehingga menyebabkan meningkatnya kebutuhan oksigen untuk mengoksidasi zat organik tersebut. Hal ini terjadi karena membran keramik terlebih dahulu tidak dilakukan pembilasan dengan air bersih ataupun aquades untuk menghilangkan material organik dan anorganik yang terdapat didalam membran keramik tersebut, sehingga nantinya agar tidak mengganggu dalam proses penelitian.

Tabel hasil penelitian dan dari hasil analisa statistik dengan uji *Analysis Of Varietas* (ANOVA) satu jalur, menunjukkan bahwa efisiensi membran keramik dalam penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada air limbah lindi masih kurang baik, dimana terbukti dari kecilnya nilai rata-rata removal dan tidak adanya perbedaan yang signifikan antara nilai rata-rata inlet dengan nilai rata-rata outlet pada konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD). Dan diketahui bahwa reaktor membran keramik dengan komposisi serbuk gergaji 5% memiliki nilai efisiensi yang paling tinggi dalam menurunkan konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada limbah cair lindi, walaupun belum dapat menurunkan sampai dengan memenuhi standar baku mutu kualitas limbah cair dalam Keputusan Gubernur Kepala Daerah Istimewa Yogyakarta No : 214/ KPTS/ 1991.

Pada penelitian yang dilakukan, tidak dijumpai adanya kondisi jenuh. Hal ini dapat terbukti pada saat *running* selama 360 menit, membran keramik masih dapat menurunkan konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) dengan baik, yaitu dengan kemampuan meremoval rata-rata yang paling baik adalah sebesar 42.59%. Sehingga pada penelitian terhadap penurunan konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) juga belum ditemukan waktu yang optimum.

Penggunaan membran keramik bagi penurunan konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada limbah cair lindi masih kurang efektif apabila dibandingkan dengan penggunaan membran keramik untuk menurunkan konsentrasi besi (Fe). Sehingga membran keramik ini lebih efektif jika dipergunakan untuk pengolahan air dengan tujuan menurunkan konsentrasi dari parameter kimia anorganik (seperti Fe, Mn, Cr, Ag, dan lain-lain).

