

OP-03

**PENGURANGAN KANDUNGAN FENOL DALAM AIR
DENGAN SISTEM THERMAL PLASMA**

Reni Desmiarti^{a*}, Ariadi Hazmi^b, Ellyta Sari^a, Yenni Trianda^a, Januerin^a dan Zalvi^a

^aJurusan Teknik Kimia Universitas Bung Hatta Padang Indonesia

^bJurusan Teknik Elektro Universitas Andalas Padang Indonesia

*Email: desmiarti@yahoo.com

ABSTRAK

Fenol merupakan salah satu polutan yang berbahaya bagi kesehatan dalam air minum. Kandungan fenol berada di Penelitian ini fokus kepada penghilangan kandungan fenol yang ada dalam air berada pada rentang 1-2,74 mg/L. Plasma adalah suatu keadaan gas yang terionisasi, mampu menghasilkan spesies radikal aktif (H^+ , O^2 , dan OH) dan molekul-molekul (H_2O_2 , O_3 , dan lain-lain) yang memiliki nilai potensial oksidasi tinggi. Spesies aktif dan molekul ini terbukti efektif dalam mengurangi kandungan senyawa organik dan mikroorganisme dalam air. Penelitian ini bertujuan untuk menghilangkan fenol yang berada dalam air dengan sistem thermal plasma dan memakai metoda radio frekuensi. Penelitian dilakukan dengan sistem batch. Plasma tersebut dihasilkan dengan mengaplikasikan frekuensi 3,7 MHz melalui reaktor plasma yang terbuat dari kaca dengan ketebalan 2 mm yang dililit oleh kawat tembaga berukuran 1 mm. Hasil penelitian terhadap sumber air dari Batang Kuranji Kota Padang menunjukkan bahwa setelah pemaparan plasma selama 60 menit pengurangan kandungan fenol dalam air berturut-turut adalah sebesar 78,47%, 70,80% dan 62,41% untuk reaktor berukuran 1, 2 dan 3 inchi. Laju degradasi fenol tertinggi terjadi pada reaktor berukuran 1 inchi yaitu sebesar $1,54 h^{-1}$.

Kata Kunci : Thermal Plasma, Radio-Frekuensi, Spesies Radikal, Fenol dan Pengolahan Air

1. Pendahuluan

Fenol merupakan salah satu polutan yang membahayakan kesehatan bila terdapat dalam air minum. Senyawa ini beserta turunannya bersifat racun dan sangat sulit didegradasi oleh organisme pengurai (Campos et al, 2003). Nilai ambang batas senyawa fenol untuk peruntukan air minum adalah 0,001 ppm (PP No. 82 Tahun 2001).

Sumber utama pencemaran air oleh senyawa fenol berasal dari limbah rumah tangga dan limbah industri. Penelitian yang dilakukan oleh Bapedalda Kota Padang terhadap air sungai Batang Kuranji di kota Padang pada Tahun 2011 memberikan hasil bahwa kandungan fenol dalam air sungai tersebut adalah sebesar 1 mg/L (1 ppm) atau sudah melebihi nilai ambang batas sebesar

0,001 ppm (SLHD Kota Padang, 2011). Sedangkan hasil analisis sampel penelitian ini pada tahun 2013, nilai konsentrasi fenol sudah mencapai 2,74 ppm atau meningkat 63.5 %. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian tentang penghilangan senyawa fenol yang berada di dalam air sangat penting dilakukan.

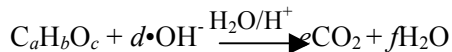
Bebe

rapa tahun terakhir ini banyak penelitian yang dilakukan untuk mengurangi kandungan senyawa polutan di dalam air dengan sistem plasma (Sato, 2007; Hazmi dkk, 2011). Pada umumnya, metode yang digunakan memfokuskan pada produksi radikal hidroksil secara langsung ke dalam air. Hal ini disebabkan karena radikal hidroksil adalah oksidan yang sangat reaktif dan memiliki potensi untuk membunuh mikroorganisme sekaligus mengoksidasi senyawa organik (Sato, 2007). Produksi

radikal ini terjadi melalui disosiasi molekul air yang menurut Tuhi (2010) terjadi melalui reaksi seperti di bawah ini.

- H₂O menjadi OH⁻ dan H₂
 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$
- H₂O menjadi H₂O₂
 $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$
- H₂O menjadi O₂
 $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}^+ + \text{O}_2 + 4\text{e}^-$

Reaksi oksidasi senyawa organik oleh radikal hidroksil ini telah dikemukakan Eckenfelder (2000) seperti berikut.



Di antara penelitian yang telah dilakukan, salah satunya oleh Clements dkk (1987) yang mempelajari penggunaan pulsa untuk menghasilkan plasma yang dialirkan melalui elektroda dengan geometri *needle-to-plate* yang digunakan untuk mengurangi kandungan polutan di dalam air. Selain itu, Sugiarto dkk (2002) mempelajari efisiensi degradasi polutan organik pada berbagai keadaan luhan (*streamer, spark*, serta kombinasi antara *streamer* dan *spark*). Joshi dkk (1995) juga menggunakan fenol sebagai target untuk mempelajari proses reaksi kimia dari radikal aktif dengan menggunakan reactor plasma *needle-to-plate*.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kemampuan sistem thermal plasma radio-frekuensi (RF) untuk menghilangkan senyawa fenol dalam air sungai. Percobaan dilakukan dengan

sistem batch untuk melihat pengaruh ukuran diameter reaktor terhadap penghilangan senyawa fenol.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Sumber Air

Sampel air yang digunakan berasal dari air sungai Batang Kuranji Kota Padang dengan waktu pengambilan pada tanggal 15 April 2014 pukul 10.00 WIB dengan kondisi cuaca cerah. Air sungai ini merupakan sumber air PDAM Kota Padang. Kualitas air sungai pada saat pengambilan sampel ditampilkan pada Tabel 1.

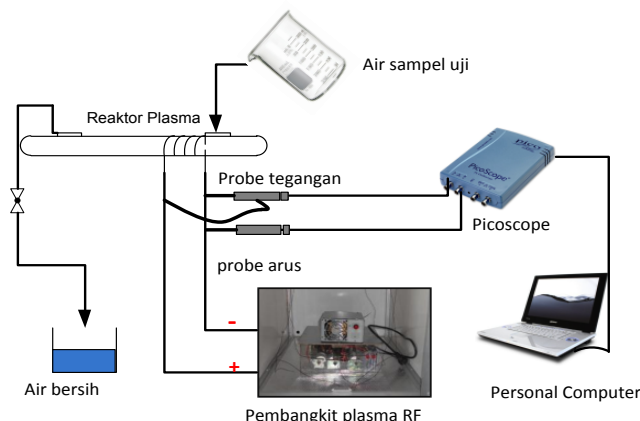
Tabel 1. Kualitas Air Sampel

Parameter Kualitas Air	Satuan	Kualitas Sampel
pH		7,34
Kekeruhan	NTU	84,85
TDS	mg/L	604
Electrical Conductivity (EC)	μS	1200
Temperatur	°C	29,5
Fenol	mg/L	2,74

2.2 Eksperimen

Skema penelitian sistem plasma radio-frekuensi (RF) dapat dilihat pada Gambar 1.

Sampel air dimasukkan ke dalam reaktor plasma yang terbuat dari kaca dengan ketebalan 2 mm yang dililit oleh kawat tembaga berukuran 1 mm. Listrik yang dihasilkan oleh generator plasma RF kemudian dialirkan melewati kawat



Gambar 1. Skema Penelitian Sistem Plasma Radio-Frekuensi (RF)

tembaga dengan frekuensi 3,7 MHz untuk menghasilkan luhan dielektrik (*dielectric discharge*) melewati kawat tembaga. Luhan ini akan mendisosiasi molekul air menghasilkan spesies aktif yang mampu mengoksidasi senyawa organik dan membunuh mikroorganisme. Produk yang diperoleh kemudian dianalisis dengan menguji kandungan fenol di dalamnya.

Prosedur di atas dilakukan dengan variabel ukuran reaktor plasma. Ukuran reaktor yang digunakan yaitu 1, 2 dan 3 inci.

2.3 Analisis

Analisis fenol dilakukan di Laboratorium Kesehatan Kota Padang dengan menggunakan aminoantipirin dengan alat spektrofotometer. Kadar fenol yang diukur antara 0,005 mg/L sampai dengan 0,1 mg/L menggunakan panjang gelombang 460 nm dan untuk kadar fenol lebih besar dari 0,1 mg/L menggunakan panjang gelombang 500 nm.

Prinsip metode ini adalah semua fenol dalam air akan bereaksi dengan 4-aminoantipirin pada pH $7,9 \pm 0,1$ dalam suasana larutan kalium ferri sianida akan membentuk warna merah kecoklatan dari antipirin. Warna yang terbentuk diukur absorbansinya pada panjang gelombang 460 nm atau 500 nm.

Analisis parameter kualitas air dilakukan dengan mengukur konduktivitas listrik serta TDS sampel dan produk dengan menggunakan alat digital merk *Martini Instrument*.

2.4 Perhitungan Laju Degradasi

Laju degradasi senyawa fenol dihitung dengan menggunakan persamaan reaksi orde satu sebagai berikut.

$$\frac{dC}{dt} = -kC \quad (1)$$

Dimana C adalah konsentrasi senyawa fenol (μgL^{-1}), t adalah waktu (h) and k adalah konstanta degradasi senyawa fenol (h^{-1}). Nilai k dihitung dengan memplot

nilai $\ln(C/C_0)$ versus t dengan menggunakan persamaan berikut.

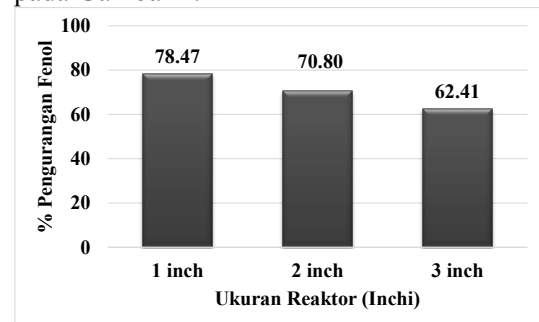
$$\ln \frac{C}{C_0} = -kt \quad (2)$$

Dimana C_0 adalah konsentrasi awal fenol.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Efek Ukuran Reaktor Plasma Terhadap Pengurangan Fenol

Efek sistem plasma radio-frekuensi (RF) terhadap pengurangan fenol dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Efek ukuran reaktor plasma terhadap pengurangan fenol pada frekuensi 3,7 MHz

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa nilai efisiensi pengurangan fenol akan menurun dengan semakin meningkatnya ukuran reaktor plasma. Pada frekuensi 3,7 MHz yang diberlakukan pada air sampel dalam reaktor berukuran 1 inci selama 60 menit persentase pengurangan fenol adalah sebesar 78,47 %. Sementara itu, pada reaktor plasma berukuran 2 inci, pengurangan fenol adalah sebesar 70,80%. Peningkatan ukuran reaktor menjadi 3 inci memberikan nilai efisiensi pengurangan fenol turun menjadi 62,41%.

Kondisi ini memberikan hasil bahwa peningkatan ukuran reaktor plasma mengakibatkan penurunan % efisiensi pengurangan fenol dalam sampel air. Hal ini disebabkan oleh kekuatan radiasi radio frekuensi akan berkurang terhadap jarak.

Hasil perhitungan terhadap laju degradasi senyawa fenol dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

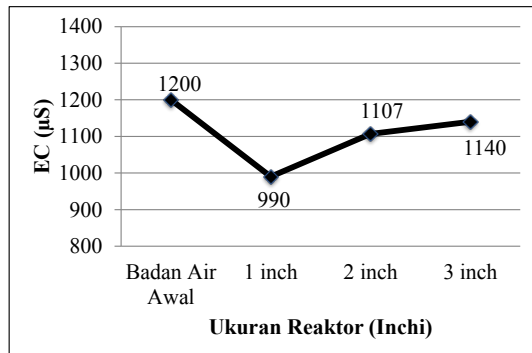
Tabel 2. Laju Degradasi Senyawa Fenol Pada Frekuensi 3,7 MHz

Ukuran Reaktor	k (h^{-1})
1 inchi	1,54
2 inchi	1,23
3 inchi	0,98

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa laju degradasi senyawa fenol tertinggi berada pada reaktor plasma berukuran 1 inchi dengan nilai k sebesar $1,54 h^{-1}$ atau 57% lebih cepat bila dibandingkan dengan reaktor berukuran 3 inchi.. Hal ini berarti bahwa degradasi senyawa fenol lebih cepat terjadi pada reaktor 1 inchi.

3.2 Efek Plasma Radio-Frekuensi (RF) Terhadap EC

Efek plasma radio-frekuensi (RF) terhadap konduktivitas listrik atau *electrical conductivity* (EC) dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Efek ukuran reaktor plasma terhadap EC

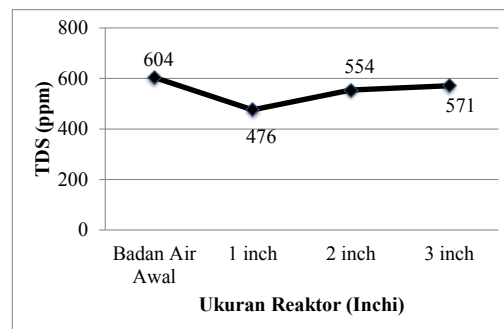
Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa semakin besar ukuran reaktor plasma maka konduktivitas listrik akan semakin meningkat pula. Konduktivitas merupakan nilai kandungan ion-ion yang terdapat dalam air atau ukuran terhadap konsentrasi total elektrolit dalam air yang berkaitan dengan kemampuan air di dalam menghantarkan arus listrik. Semakin banyak garam-garam yang terlarut maka baik daya hantar arus listriknya. Perbedaan konduktivitas

dipengaruhi oleh komposisi, jumlah ion terlarut, salinitas dan suhu (Allan,1995).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan ukuran reaktor plasma akan meningkatkan konduktivitas air. Hal ini menunjukkan bahwa ion-ion yang berasal dari spesies aktif yang terdapat dalam air jumlahnya akan meningkat akibat kapasitas reaktor yang ditingkatkan. Reaktor berukuran 3 inchi akan mengandung ion-ion lebih banyak bila dibandingkan dengan reaktor berukuran 1 dan 2 inchi.

3.3 Efek Terhadap TDS

Efek plasma radio-frekuensi (RF) terhadap jumlah padatan terlarut atau *total dissolved solid* (TDS) dapat dilihat pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Efek ukuran reaktor plasma terhadap TDS

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa sistem plasma RF tidak terlalu mempengaruhi kandungan padatan terlarut di dalam sampel air. Nilai TDS produk yang dihasilkan masih berada dalam rentang 470-570 mg/L.

Secara garis besar, perbandingan antara kualitas air yang dihasilkan melalui sistem plasma RF dengan air yang dihasilkan melalui sistem ultraviolet yang umum beredar di pasaran dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Perbandingan Sistem Plasma RF dengan Sistem UV

Parameter Kualitas Air	Satuan	Air Batang Kuranji (2014)	Sistem Plasma RF (Reaktor 1 inchi)	Sistem UV (galon dari DAMIU)
pH		7,34	-	7,21
Kekeruhan	NTU	84,85	84,1	66
TDS	mg/L	604	476	378
Electrical Conductivity (EC)	μ S	1200	990	840
Temperatur	$^{\circ}$ C	29,5	29,5	28,2
Fenol	mg/L	2,74	0,59	< 0,005

Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa secara umum air yang dihasilkan sistem plasma RF, meskipun tanpa proses perlakuan awal (*pre treatment*) memiliki nilai yang hampir sama dengan air yang dihasilkan melalui sistem pengolahan ultraviolet yang telah dilengkapi dengan proses *pretreatment*. Hal ini menunjukkan bahwa sistem plasma RF mampu menghasilkan air dengan kualitas yang layak minum kecuali untuk penghilangan konsentrasi fenol, karena sumber air minum isi ulang berasal dari air gunung (nilai konsentrasi fenol <0,005 ppm).

Kemampuan sistem thermal plasma radio frekuensi untuk menghilangkan konsentrasi fenol yang tinggi, menjadikan teknologi plasma akan menjadi alternatif pengolahan air minum dimasa yang akan datang untuk menghasilkan kualitas air minum sesuai dengan standar kesehatan.

4. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Sistem pengolahan air menggunakan plasma radio-frekuensi (RF) menghasilkan spesies aktif yang mampu mendegradasi senyawa fenol yang terdapat di dalam air.
2. Laju degradasi senyawa fenol dalam air dapat diprediksi dengan menggunakan persamaan reaksi orde
- 3.

4. satu.
5. Hasil yang didapatkan pada percobaan optimal pada ukuran reaktor 1 inchi dengan efisiensi pengurangan senyawa fenol adalah 78,47% dan laju degradasi sebesar $1,54 \text{ h}^{-1}$.
6. Peningkatan ukuran reaktor plasma akan meningkatkan nilai konduktivitas listrik air yang dihasilkan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada DIKTI yang telah mendukung penelitian ini yang dibiayai oleh DIPA Kopertis X Tahun 2014 No. SP DIPA-023.04.2.532476/2014 Tanggal 5 Desember 2013, sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi No. 01/Kontrak/010/KM/2014 tanggal 10 Februari 2014.

Daftar Pustaka

- Campos, F.M., Couto J.A., and Hogg, T.A. (2003). *Influence of Phenolics Acids on Growth and Inactivation of Oenococcus oeni and Lactobacillus hilgardii*. Journal of Applied Microbiology : 94, 167-174.
- Clements J. S. M. Sato. R. H. Davis. (1987). *Preliminary Investigation of Prebreakdown and Chemical Reaction Using a Pulsed High Voltage on Industrial Application*. Vol. 1A-23. No. 2.

- Eckenfelder, W. Wesley (2000), *Industrial Water Pollution Control*. New York. McGraw Hills Companies.
- Hazmi A., Desmiarti R. Eka PW. (2011). *Penghilangan Mikroorganisme dalam AirMinum dengan Pulsa Tegangan Tinggi*. Prosiding SNTK TOPI. Pekanbaru. Hal. DLL03. 13-16. 21-22 Juli.
- Joshi A. A. B. R. Locke. P. Arce. W. C. Finney. (1995). *Formation of HydroxylRadical. Hydrogen Peroxide and Aqueous Electrons by Pulsed Streamer CoronaDischarge in aqueous solution*. J. Hazard Materials. Vol. 44.
- Peraturan Pemerintah No.28 (2001) tentang Standar Baku Mutu untuk Air Baku dan Permenkes RI No.492/Menkes/Per/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.
- Sato. M et al., (2007). *Decomposition of Phenol in Water Using Water SurfacePlasma in Wetted-wall Reactor*. International Journal of Plasma EnvironmentalScience & Technology Vol. 1. No. 1.
- Sugiarto A. T. (2006). *Electrical Discharge dalam Air dan Aplikasinya dalamPengukuran Senyawa Organik*. Prosiding Seminar Nasional Tenaga Listrik dan Mekanik. Bandung.
- Tuhu Agung R. Hanry Sutan Winata. (2010). *Pengolahan Air Limbah Industri TahuDengan Menggunakan Teknologi Plasma*. Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol.2No. 2 hal 19-28.