

PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI GULA DENGAN TEKNOLOGI PLASMA SISTEM NON CONTACT ELECTRODES DENGAN OXYGEN ATMOSPHERE TERHADAP VARIASI TEGANGAN DAN BANYAKNYA SIRKULASI

Wiharyanto Oktawan^{*)}, Endro Sutrisno^{*)}, Ulfatul Fuadah^{**)}

ABSTRACT

Plasma technology is one of the technology alternatives to treat waste water. In this research, plasma reactor employs the system of non contact electrodes was used to remove COD in the waste water of sugar industry plant. The plasma technology will produce shockswaves, a very high temperature, ultraviolet light, O₃, H₂O₂, and some active species which are very important in oxidation process to decompose organic matter. In this research, voltage and number of circulation were varied. The higher was set and the more number of circulation was used, the higher efficiency of COD removal would be achieved. Conductivity and pH of waste water influence to efficiency of treatment. High conductivity of waste water will reduce production of hydroxyl radical. Waste water with low pH caused oxidation process was not optimal. The highest efficiency of COD removal, achieved in the voltage of 9 kV and 6 times of circulation, was 65,70%. In order to achieve such efficiency, 0,499 kWh of energy input was needed.

Key words: Plasma, COD

PENDAHULUAN

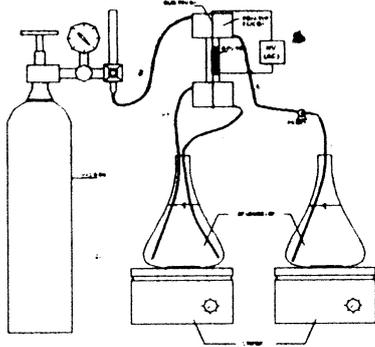
Industri gula menghasilkan limbah cair dengan kandungan bahan zat organik yang cukup tinggi dan menyebabkan pencemaran jika dibuang langsung ke badan air. Pabrik gula banyak tersebar di Indonesia dan limbah yang dihasilkan dari industri ini banyak menimbulkan keresahan masyarakat karena limbah yang dihasilkan. Contohnya adalah Pabrik Gula Rendeng Kudus yang meresahkan masyarakat, karena limbah cairnya yang dibuang ke Sungai Tumpang menyebabkan sungai menjadi hitam dan berbuih (Anonim, 2006). Hal yang sama juga terjadi di Sungai Song yang tercemar oleh limbah cair Pabrik Gula Mojopangoong, Tulungagung (Anonim, 2006). Pabrik Gula Trangkil Pati dan Pabrik Gula Suba Indah Cilegon juga mengalami permasalahan dalam penanganan limbah cairnya.

Pusat Penelitian Kalibrasi Instrumentasi dan Metrologi (Pus-Lit KIM- LIPI) bidang instrumentasi lingkungan sedang mengembangkan salah satu alternatif teknologi untuk mengolah limbah yaitu teknologi plasma. Teknologi ini juga sedang dikembangkan oleh negara- negara maju seperti Jepang dan Amerika Serikat untuk mengatasi limbah cair adalah teknologi plasma (*electrical discharge*). Teknologi

plasma (*electrical discharge*) merupakan salah satu alternatif teknologi pengolahan limbah yang mempunyai beberapa kelebihan, diantaranya proses penguraian senyawa organik berlangsung sangat cepat, serta menghasilkan spesies aktif yang dapat menguraikan hampir seluruh senyawa organik (Sugiarto, 2006).

METODOLOGI

Tahapan dalam penelitian ini terdiri dari persiapan, pelaksanaan, serta analisa dan pembahasan. Persiapan terdiri dari perakitan reaktor plasma, persiapan alat analisa, pengambilan sampel, dan analisa awal sampel. Tahapan pelaksanaan yaitu mengkontakkan limbah cair industri gula dengan plasma, variasi yang digunakan adalah tegangan 6 kV, 7 kV, 8kV, dan 9 kV serta variasi sirkulasi yaitu sirkulasi 0, 1, 2, 3, 4, 5, dan 6. Tahap analisa dan pembahasan berupa analisa kualitatif dan kuantitatif dengan statistik.



Gambar 1. Rangkaian Reaktor Plasma

analisa awal diambil berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No: Kep-51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair untuk industri gula, diperoleh hasil sebagai berikut:

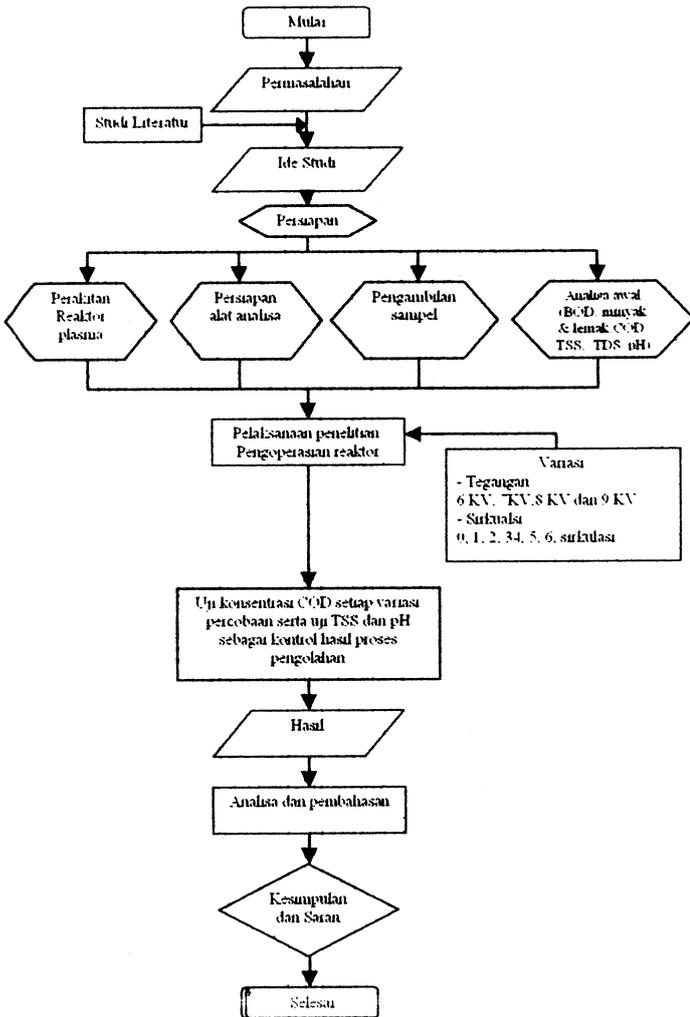
Tabel 1 Kualitas Sampel Limbah Cair Industri Gula

No.	Parameter	Satuan	Hasil
1.	COD	mg/l	5598
2.	BOD	mg/l	2012
3.	Minyak & Lemak	mg/l	43.39
4.	TSS	mg/l	232
5.	pH		5

Pada penelitian ini parameter yang dianalisa adalah COD, TSS, dan pH. COD sebagai parameter utama, sedangkan TSS, TDS dan pH sebagai parameter kontrol.

Tabel 2 Kualitas Limbah Cair Hasil Pengolahan

Tegangan (KV)	Sirkulasi	Parameter		
		COD	TSS	pH
6	0	5598	209	5
	1	5364	204	4
	2	5083	197	4
	3	4776	190	4.5
	4	4238	185	4.5
	5	3956	173	4.5
7	6	3600	157	4.5
	0	5598	209	5
	1	5053	196	5
	2	4479	190	5
	3	4200	180	5
	4	3910	167	5
8	5	3450	150	5
	6	3150	138	5.5
	0	5598	206	5
	1	4800	186	5
	2	4210	176	5
	3	3810	168	5
9	4	3420	156	5.5
	5	2980	138	5.5
	6	2546	122	6
	0	5598	213	5
	1	4417	184	5
	2	3420	150	5.5
	3	3010	150	5.5
	4	2765	141	5.5
	5	2230	124	6
	6	1920	96	6



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

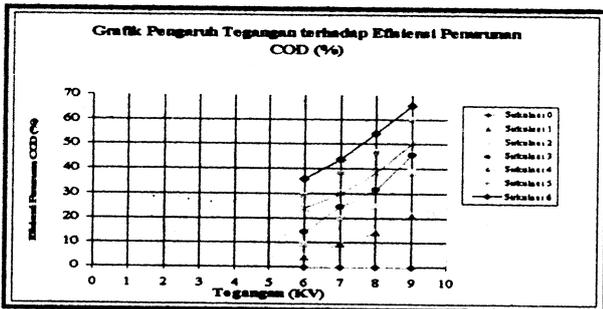
Analisa awal sampel limbah cair industri gula dilakukan untuk mengetahui kualitas limbah cair yang akan digunakan untuk penelitian. Parameter yang diukur sebagai

Pengaruh Variasi Tegangan terhadap COD

Efisiensi penurunan COD dengan variasi tegangan dapat dilihat pada tabel 3 di atas. Dari tabel 3 dan gambar 3 di bawah ini dapat diketahui bahwa semakin tinggi tegangan maka efisiensi penurunan COD semakin besar. Efisiensi terbesar yaitu 65,70% pada variasi tegangan 9 KV dan sirkulasi ke-6.

Tabel 3 Efisiensi Penurunan COD terhadap Variasi Tegangan dan Sirkulasi

Tegangan (KV)	Sirkulasi						
	0	1	2	3	4	5	6
6	0	4.18	9.20	14.68	24.29	29.33	35.69
7	0	9.74	19.99	24.97	30.15	38.37	43.73
8	0	14.26	24.79	31.94	38.91	46.77	54.52
9	0	21.10	38.91	46.23	50.61	60.16	65.70



Gambar 3 Pengaruh Tegangan terhadap Efisiensi Penurunan COD

Pengaruh Variasi Tegangan terhadap TSS

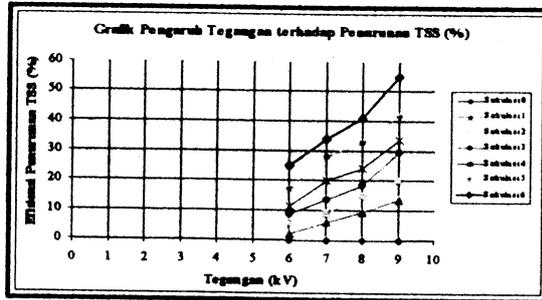
Efisiensi penurunan TSS dengan variasi tegangan dan sirkulasi dapat dilihat pada tabel 4 berikut ini:

Tabel 4 Efisiensi Penurunan TSS terhadap Variasi Tegangan dan Sirkulasi

Tegangan (KV)	Sirkulasi						
	0	1	2	3	4	5	6
6	0	2.39	5.74	9.09	11.48	17.22	24.88
7	0	6.22	9.09	13.88	20.10	28.23	33.97
8	0	9.71	14.56	18.45	24.27	33.01	40.78
9	0	13.62	20.19	29.58	33.80	41.78	54.93

Dari gambar 4 di bawah ini dapat dilihat bahwa semakin tinggi tegangan, maka efisiensi penurunan TSS akan semakin besar. Efisiensi terbesar yaitu 54,93% terjadi pada tegangan 9 KV dan sirkulasi ke-6. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi tegangan energi yang dilepaskan akan semakin besar. Dengan Energi yang

semakin besar maka spesies aktif yang terbentuk semakin banyak, ozon dan uv yang terbentuk banyak. Oleh karena produk yang dihasilkan semakin banyak, maka akan semakin efektif dalam pengolahan limbah cair dan semakin banyak zat organik yang terdegradasi.



Gambar 4 Pengaruh Tegangan terhadap Efisiensi Penurunan TSS

Pengaruh Variasi Tegangan terhadap pH

Perubahan pH limbah cair setelah pengolahan dengan variasi tegangan dan sirkulasi dapat dilihat pada tabel 5 berikut ini:

Tabel 5 Perubahan pH terhadap Variasi Tegangan dan Sirkulasi

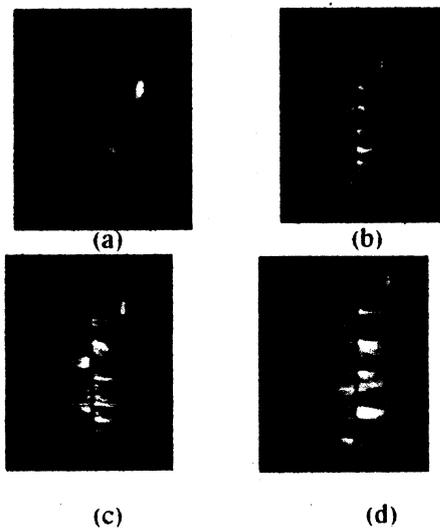
Tegangan (KV)	Sirkulasi						
	0	1	2	3	4	5	6
6	5	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50	4.50
7	5	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.50
8	5	5.00	5.00	5.00	5.50	5.50	6.00
9	5	5.00	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa pada tegangan 6 KV terjadi perubahan pH dari 5 menjadi 4,5; hal ini menunjukkan bahwa terjadi proses degradasi senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana, sehingga mengakibatkan pH akan turun. Pada tegangan 9 KV perubahan pH menjadi 6. Pada tegangan 7 KV dan 8 KV terlihat tidak terjadi perubahan pH, meskipun mungkin perubahan akan terlihat jika pengukuran menggunakan pH meter dengan ketelitian lebih kecil dari 1. karena pengukuran menggunakan pH universal maka perubahan pH yang kecil tidak terlihat. Dengan nilai pH yang tetap, diasumsikan jika terjadi perubahan pH, maka perubahannya tidak signifikan. Pada proses oksidasi dengan produk akhir CO₂ dan H₂O pH pada limbah cair akan menjadi netral.

Mode plasma yang dihasilkan pada penelitian ini adalah mode *streamer*. Mode *streamer* memiliki banyak *plasma channel* namun energi pada masing-masing *channel* relatif kecil (Sugiarto, 2004). Menurut Sugiarto, (2002), dalam mode *streamer*, yang berperan penting dalam proses oksidasi zat organik adalah OH^\bullet . Mode yang digunakan adalah *streamer* karena dengan mode ini hampir seluruh permukaan limbah cair akan kontak dengan plasma. Jika mode yang digunakan *spark* plasma hanya akan terbentuk dalam satu titik saja, sehingga hanya sedikit permukaan limbah yang kontak dengan plasma.

Jika tegangan yang digunakan berbeda, maka akan menghasilkan mode plasma yang berbeda pula. Semakin tinggi tegangan kemungkinan untuk terjadi *sparkling* semakin besar. (Sugiarto, 2002).

Banyaknya *plasma channel* yang terbentuk oleh plasma dengan peningkatan tegangan dapat dilihat secara kasat mata. Perbedaan banyaknya *plasma channel* yang dihasilkan oleh plasma dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 5 a) Plasma pada Tegangan 6 kV, b) Plasma pada Tegangan 7 kV, c) Plasma pada Tegangan 8 kV, d) Plasma pada Tegangan 9kV

Semakin tinggi tegangan maka efisiensi penguraian zat organik semakin besar, oleh karena itu efisiensi penurunan COD semakin besar. Hal ini sesuai dengan literatur, dengan tegangan semakin besar maka energi yang dihasilkan juga semakin besar. Energi inilah yang mengakibatkan terjadinya proses fisika dan proses kimia dalam limbah cair. Proses fisika yang terjadi disebabkan

oleh adanya *electron beam* dan *shocwaves*. Sedangkan proses kimia terjadi karena terbentuknya spesies aktif OH^\bullet , O^\bullet , H_2O_2 , O_3 , dan sinar UV. Dari proses fisika dan kimia tersebut, OH^\bullet merupakan spesies yang paling berperan dalam penguraian senyawa organik (Sugiarto, 2001). Hal ini karena OH^\bullet , 10^6 sampai 10^9 bereaksi lebih cepat daripada ozon (Munter, 2001). OH^\bullet juga mempunyai potensial oksidasi yang sangat tinggi yaitu 2.8 eV sehingga dapat bereaksi dengan senyawa apapun tanpa memilih, meskipun demikian hidroksi radikal mempunyai waktu hidup (*life time*) yang sangat singkat yaitu 700 ns. Oleh karena itu harus dibuat dalam jumlah yang banyak, salah satu caranya dengan mempertinggi tegangan. Terjadinya penurunan COD, maka kadar TSS juga akan turun. Hal ini disebabkan dalam TSS terdapat zat organik yang merupakan komponen pendukung dari COD.

Limbah cair yang digunakan dalam penelitian ini bersifat asam, hal ini mengakibatkan proses oksidasi tidak optimal, karena pada pH basa ozon yang terbentuk akan langsung terdekomposisi menjadi hidroksi radikal. Sedangkan pada pH yang rendah ozon akan larut ke dalam limbah dan sebagian menjadi hidroksi radikal setelah bereaksi dengan ultraviolet dan H_2O_2 . Menurut Munter, (2001), proses oksidasi $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3/\text{uv}$ sangat efektif jika dalam kondisi basa yaitu pH 8-10. Sedangkan pada pH >10, ion karbonat (CO_3^-) dan bikarbonat (HCO_3^-) akan terbentuk lebih banyak yang merupakan *scavenger* sehingga OH^\bullet sebagian besar akan bereaksi dengan ion karbonat dan bikarbonat menjadi radikal karbon karbonat dan bikarbonat yang bersifat pasif. Pada pH 10 juga berpengaruh mengurangi waktu hidup ozon dari 20-30 menit menjadi hanya 1 menit.

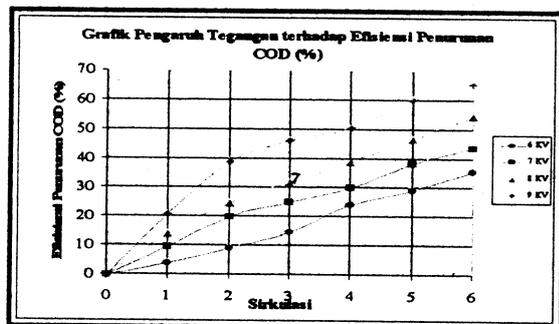
Efisiensi penurunan COD maksimum yang dihasilkan adalah 65,70%, penguraian yang tidak optimal ini juga dipengaruhi oleh konduktivitas air yang sangat tinggi yaitu $6864 \mu \text{S/cm}$. Konduktivitas air yang tinggi berpengaruh terhadap degradasi senyawa organik. Konduktivitas air yang semakin besar mengakibatkan pembentukan H_2O_2 semakin menurun. Hal ini karena pada konduktivitas air yang rendah cabang *plasma channel* yang terbentuk lebih panjang dan akan menjadi lebih pendek jika konduktivitas naik. *Plasma channel* yang lebih pendek karena konduktivitas air yang

tinggi mengakibatkan spesies aktif yang terbentuk berkurang. Hal ini karena jarak *plasma channel* ke permukaan air menjadi sedikit lebih jauh. Oleh karena itu diperlukan tegangan yang lebih tinggi untuk konduktivitas air yang tinggi.

Menurut Sawyer & Mc Carty, (1978), tingginya konduktivitas disebabkan oleh adanya ion-ion dalam limbah cair diantaranya yaitu ion karbonat dan bikarbonat. Karena konduktivitas limbah sangat tinggi kemungkinan juga banyak mengandung CO_3^{2-} dan HCO_3^- yang merupakan *scavenger* hidroksi radikal sehingga hidroksi radikal yang terbentuk tidak semuanya dapat bereaksi.

Pengaruh Variasi Sirkulasi terhadap COD

Pada gambar 6 berikut ini dapat dilihat banyaknya sirkulasi juga sangat mempengaruhi efisiensi penurunan COD. Hal ini karena waktu kontak plasma dan limbah cair akan semakin lama. Efisiensi tertinggi terjadi setelah 6 kali sirkulasi. Penurunan konsentrasi COD akan semakin besar jika sirkulasi diperbanyak.

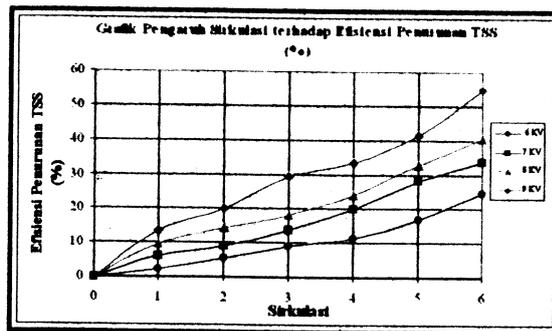


Gambar 6. Pengaruh Sirkulasi terhadap Efisiensi Perubahan COD

Pengaruh Variasi Sirkulasi terhadap TSS

Dari gambar 7 dapat dilihat bahwa semakin banyak sirkulasi maka hidroksi radikal yang mempunyai *life time* yang sangat singkat akan cepat hilang dan tergantikan oleh hidroksi radikal yang baru, ozon yang terlarut akan semakin banyak, intensitas uv akan semakin banyak. Semakin banyak sirkulasi maka semakin lama waktu kontak antara plasma dengan limbah cair, sehingga tingkat degradasi senyawa organik akan semakin tinggi. Untuk satu kali sirkulasi diperlukan waktu 2 detik. Efisiensi paling tinggi untuk TSS adalah pada sirkulasi keenam, hal ini berarti bahwa diperlukan waktu

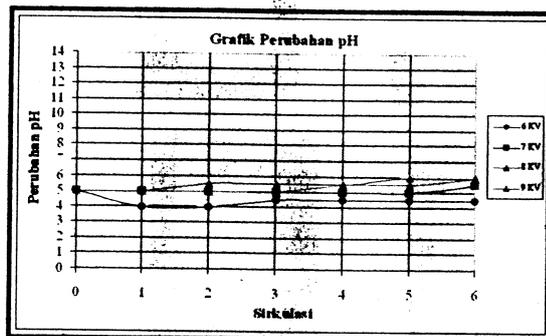
12 detik untuk mendapatkan penurunan TSS sebesar 54,93% dengan tegangan 9 KV.



Gambar 7 Pengaruh Sirkulasi terhadap Efisiensi Perubahan TSS

Pengaruh Variasi Sirkulasi terhadap pH

Semakin banyak sirkulasi pH mengalami perubahan tetapi tidak terlihat signifikan. Pada sirkulasi ke-6 pH berubah dari 5 menjadi 5,5. pada proses oksidasi yang sempurna, zat organik akan terdegradasi menjadi CO_2 dan H_2O sehingga pH yang terbentuk adalah netral. Pada penelitian ini pH belum menjadi netral sehingga dapat dikatakan proses oksidasi belum optimal. Proses oksidasi ini akan menjadi sempurna jika sirkulasi diperbanyak.

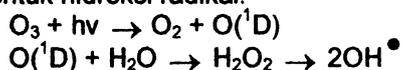


Gambar 8 Pengaruh Sirkulasi terhadap Perubahan pH

Semakin banyak sirkulasi maka semakin banyak zat organik yang terdegradasi. Hal ini karena proses fisika dan kimia akan berlangsung berkali-kali. Semakin banyak sirkulasi juga menunjukkan semakin lama waktu kontak limbah cair dengan plasma. Hal ini sesuai dengan literatur semakin lama waktu kontak plasma dengan limbah cair, maka semakin tinggi penguraian senyawa dalam limbah sehingga efisiensi penurunan COD. Hidroksi radikal mempunyai waktu hidup yang pendek yaitu 700 ns, sedangkan ozon lambat bereaksi dengan zat organik

tetapi mempunyai waktu hidup yang lama yaitu 20-30 menit. Oleh karena hal tersebut maka sirkulasi harus dilakukan berkali-kali sehingga hidroksi radikal akan selalu terbentuk dan ozon terbentuk dalam jumlah banyak, ozon yang sudah larut dalam air dapat langsung bereaksi dengan zat organik atau membentuk OH^\bullet . Dengan sirkulasi berkali-kali ozon yang terbentuk semakin banyak. Dalam penelitian sebelumnya juga disebutkan bahwa proses oksidasi dilakukan yang dilakukan berkali-kali lebih efektif daripada sekali sirkulasi dengan peningkatan energi yang sangat tinggi.

Dalam penelitian ini juga diperlukan injeksi oksigen (*oxygen atmosphere*) untuk menghasilkan ozon. Hal ini karena jenis plasma yang digunakan adalah plasma di atas permukaan air atau plasma dalam fase gas, maka radikal yang terbentuk hanya akan bereaksi dengan permukaan air saja. Oleh karena itu diperlukan O_2 yang akan dirubah menjadi O_3 dan larut dalam air. Oksigen yang digunakan diambil dari tabung oksigen (oksigen murni) dengan debit 1,5 L/menit. Konsentrasi ozon yang terbentuk sangat tergantung pada kecepatan aliran oksigen dan besar daya yang diberikan. Semakin besar kecepatan aliran oksigen maka waktu oksigen di dalam reaktor menjadi lebih singkat sehingga ozon yang terbentuk menjadi lebih kecil. Konsentrasi ozon juga meningkat dengan bertambah besarnya daya yang diberikan pada reaktor. Hal ini berarti semakin tinggi tegangan, ozon yang dihasilkan semakin banyak. Pada saat daya yang diberikan kecil jumlah tumbukkan yang terjadi antara elektron dan oksigen sangat jarang, sehingga konsentrasi ozon yang dihasilkan kecil. Dengan menaikkan daya pada reaktor akan mengakibatkan bertambahnya tumbukkan antara elektron dengan oksigen yang menimbulkan konsentrasi ozon meningkat. Konsentrasi ozon yang meningkat mengakibatkan jumlah hidroksi radikal yang terbentuk juga semakin banyak. Hal ini karena jika ozon bereaksi dengan hidrogen peroksida akan membentuk hidroksi radikal, sedangkan bereaksi dengan uv membentuk siglet oksigen. Singlet oksigen yang bereaksi dengan air akan membentuk hidroksi radikal.



Agar limbah cair menjadi homogen dan proses oksidasi berlangsung optimal maka

dilakukan pengadukan dengan menggunakan *magnetic stirrer*.



Oksigen dipilih sebagai sumber gas karena berdasarkan penelitian sebelumnya disimpulkan bahwa efisiensi pengolahan zat organik meningkat dengan adanya oksigen (Sugiarto, 2005). Oksigen juga dapat lebih mempercepat proses oksidasi zat organik. Nilai degradasi dengan oksigen dapat mencapai 1,5-2 kali lebih besar daripada argon dan 4 kali lebih besar daripada udara bebas (Hayashi, et al., 2000). Udara hanya mengandung oksigen kurang lebih sebesar 19% atau seperlima oksigen murni (Hayashi, et.al., 2000). Clements, et.al (1987), Sun, et.al (1997), serta Sato, et.al (1998) juga menyimpulkan bahwa O_3 akan dihasilkan lebih banyak selama proses *discharge* dengan adanya gas O_2 (Malik, et.al., 2001).

INPUT ENERGI

Untuk tegangan 6 kV dan 6 kali sirkulasi diperlukan energi sebesar 0,042 kWh, dan dapat menurunkan COD sebesar 19,81%, ini adalah energi paling kecil yang digunakan, energi input paling besar adalah 0,499 kWh dengan tegangan 9 kV dan 6 kali sirkulasi dan dapat menurunkan COD 65,70 %, TSS 54,93%, dan pH 6 dengan tegangan.

Berdasarkan tabel 2 diketahui bahwa nilai G (*removal efficiency*) untuk tegangan 9 kV dan sirkualsi ke-6 adalah 3,86 g/kWh, artinya setiap 1 kWh dapat menurunkan COD sebesar 3,86 gram. Sedangkan EE/O yang diperlukan untuk tegangan 9 kV adalah 376,56 kWh/m³, artinya untuk mendapatkan efisiensi penurunan COD sebesar 65,70% diperlukan energi sebesar 376,56 kWh setiap m³ limbah cair.

KESIMPULAN

1. Teknologi plasma sistem *non contact electrodes discharge* dapat menurunkan kadar COD pada limbah cair industri gula dengan efisiensi penurunan sebesar 65,70% pada tegangan 9 kV dan sirkulasi ke-6.
2. Semakin tinggi tegangan dan semakin banyak sirkulasi untuk mengolah limbah cair industri gula dengan teknologi plasma sistem *non contact electrodes discharge*, maka semakin besar efisiensi penurunan COD limbah cair industri gula.

SARAN

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai teknologi plasma untuk pengolahan limbah cair dengan berbagai variasi seperti:
 - a. Sistem reaktor plasma yang berbeda akan menghasilkan efisiensi penurunan parameter yang berbeda pula.
 - b. Variabel jarak elektroda ke permukaan air akan berpengaruh terhadap efisiensi penurunan parameter.
 - c. Variasi banyaknya injeksi oksigen atau tanpa oksigen akan berpengaruh terhadap efisiensi penurunan parameter.
2. Diperlukan kajian lebih lanjut tentang aplikasi teknologi plasma di lapangan meliputi desain reaktor, dan analisa biayanya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2004. *Dielectric Barrier Discharge Lamps*. <http://www.physics.mq.edu.au>.
- Ghaffar, Abdul, Muhammad Arief Malik, and Salman akbar Malik. 2000. *Water Purification by Electrical Discharge*. Islamabad, Pakistan.
- Hayashi, D, W.F.L.M. Hoeben, G. Dooms, E.M. van Veldhuizen, W.R. Rutgers, and G.M.W. Kroesen. 2000. *Influence of Gaseous Atmosphere on Corona Induced Degradation of Aqueous Phenol*. Natherland.
- Istadi. 2006. *Aplikasi Teknologi Hibrid Katalis Plasma Dalam Pengembangan Reaktor Kimia Masa Depan*. Semarang.
- Lukes, Petr. 2001. *Water Treatment by Pulsed Streamer Corona Discharge*. Prague. Czech Republic.
- Munter, Rein. 2001. *Advanced Oxidation Processes Current Status and Prospect*. Tallin. Estonia.
- Nur, Muhammad. 2006. *Fisika Plasma dan Aplikasinya*. Semarang.
- Sawyer and McCarty. 1978. *Chemistry for Enviromental Engineering*. Third Edition.
- Sugiarto, Anto Tri. 2004. *Analisa Spectroscopy Electrical Discharge dalam Air*. Tangerang.
- Sugiarto, Anto Tri. 2002. *Atasi Polusi dengan Plasma*. Kompas 14 November 2002.
- Sugiarto, Anto Tri. 2004. *Developing Water Surface Discharge for Waste Water Treatment*. Tangerang.
- Sugiarto, Anto Tri. 2005. *Investigation of Spark Discharge in Water Using Spectroscopy Methode*. Tangerang.
- Sugiarto, Anto Tri. 2002. *Properties of Pulsed Electrical Discharge in Water and Their Application*. Kiryu, Japan.
- Sugiarto, Anto Tri. 2003. *Reaktor Electrical Discharge dalam Air*. Tangerang.
- Supriyati, Nining. 2002. *Laporan Kerja Praktek PG. Rendeng Kudus*. Semarang.
- Wagner, K.V. Kozlov, R. Branderburg, P. Michel. 2006. *Experimental Study of Repetitive Electrical Breakdown in The Barrier Discharge in Air*.
- Yee, Dennis, Sadhana Chauhan, Efim Yankelevich, Vitaly Bystritskii, and Thomas K. wood. 1997. *Degradation of Perchloroethylene and Dichlorophenol by Pulsed Electric Discharge and Bioremediation*. California.