

STUDI PENURUNAN COD DAN TSS PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI MINUMAN RINGAN DENGAN MENGGUNAKAN TEKNOLOGI PLASMA
(Studi Kasus PT. Coca Cola Amatil Indonesia – Semarang)
Amalia Karina^{*)}; Badrus Zaman^{*)}; Abdul Syakur^{)}**

Abstract

Soft drink industry is growing rapidly in Indonesia. This increase is directly proportional to the increase of waste generated, including waste water. Soft drink industrial wastewater contains high level of organic compound, COD (Chemical Oxygen Demand) and also TSS (Total Suspended Solid).

Plasma technology can be an alternative in treating wastewater. Plasma is formed when high voltage is given to two electrodes. The electrodes used in this reactor are stainless steel pipe and stainless steel wire barried with pyrex glasses, known as Dielectric Barrier Discharge (DBD). Plasma reactor operated with variate voltage (9 kV, 10 kV, 11 kV and 12 kV) and variate amount of circulation (1-7 times) with continuous system. Before treated with plasma, soft drink industrial waste water aerated with pure oxygen gas first.

The voltage and circulation influence the degradation of COD and TSS in soft drink wastewater. The degradation of COD and TSS increases when we applied higher voltage and more amount of circulation. The highest degradation of COD and TSS was attained in 12 kV with 7 circulations. The removal efficiency of COD was 94,87% and the removal efficiency of TSS was 95,97%.

Key Word: *Soft Drink Industrial Waste Water, Plasma Technology, DBD, COD, TSS*

PENDAHULUAN

Industri minuman ringan merupakan indsutri yang berkembang cukup pesat di Indonesia. Menurut Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, pada tahun 2012 pertumbuhannya sebanyak 8 persen dan pada tahun 2013 menjadi 11 persen. Pesatnya pertumbuhan tersebut meningkatkan pertumbuhan ekonomi di negeri ini. Namun, industri juga membawa pengaruh buruk terhadap lingkungan.

Limbah industri minuman ringan mengandung COD dan TSS yang cukup tinggi. Kandungan COD pada limbah cair industri minuman ringan mencapai 6715,6 mg/L [1]. Angka tersebut sangat jauh dari baku mutu menurut Peraturan Daerah Jawa Tengah No. 5 Tahun 2012 yaitu sebesar 100 mg/L. Kadar padatan tersuspensi total dari industri minuman ringan rata-rata sebesar 1,9 kg TSS/m³ produk minuman ringan yang dihasilkan [2]. Dengan tingginya kandungan COD dan TSS pada limbah cair industri minuman ringan, maka dibutuhkan pengolahan pada limbah cair tersebut.

Selama ini, di Indonesia sebagian besar pengolahan limbah dilakukan secara fisika seperti *screening*, filtrasi dan *clarification*, secara kimia seperti koagulasi-flokulasi dengan pembubuhan zat kimia, serta secara biologi seperti lumpur aktif, kolam aerob dan kolam anaerob. Namun, pengolahan kimia, fisik maupun biologi yang biasa diterapkan sering kali dirasa menjadi kurang efektif karena semakin kompleksnya limbah yang dihasilkan dan biaya operasional yang tinggi [3]. Pengolahan limbah harus mempertimbangkan segi efisiensi dan biaya pengolahan yang harus dikeluarkan oleh industri yang bersangkutan. Sehingga dibutuhkan teknologi yang lebih efektif dan ekonomis untuk pengolahan limbah industri.

Perkembangan teknologi pada saat ini mengarah pada metode baru yang dinilai lebih efektif untuk mengolah limbah. Teknologi plasma dapat menjadi salah satu alternatif pengolahan limbah tersebut.

Teknologi ini mampu menyisihkan polutan dalam limbah cair mencapai 100% [3]. Teknologi plasma memanfaatkan elektron energi tinggi, ion dan spesies aktif yang terkandung dalam plasma untuk mengoksidasi senyawa organik. Teknologi plasma mampu

^{*)} Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Uversitas Diponegoro

^{**)} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Uversitas Diponegoro

menyisihkan senyawa organik dalam limbah cair tanpa menghasilkan *sludge*.

METODOLOGI PENELITIAN

Secara keseluruhan pelaksanaan penelitian dibagi dalam tiga tahapan, meliputi:

1. Tahap Persiapan

Kegiatan pada tahap persiapan terdiri dari pengambilan sampel limbah, uji karakteristik awal sampel limbah, uji coba alat, dan uji pendahuluan.

Sampel limbah diambil dengan metode *grab sampling*, yaitu pengambilan sampel pada satu waktu dan tempat tertentu. Limbah diambil pada *outlet* pipa pembuangan yang juga merupakan *inlet* bagi instalasi pengolahan pada PT. Coca Cola Amatil Indonesia, Ungaran, Semarang. Sampel diambil sebanyak 25 liter yang diperkirakan cukup untuk kebutuhan penelitian ini.

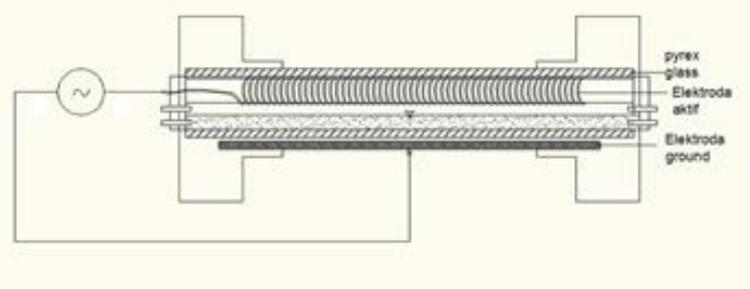
Sebelum percobaan pengolahan terhadap sampel dimulai, terlebih dahulu dilakukan analisis karakteristik sampel limbah sebagai gambaran awal kondisi limbah yang akan diolah. Baku mutu mengacu pada Peraturan Daerah Jawa Tengah No. 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah. Parameter yang diuji adalah COD dan TSS.

Setelah rangkaian alat, yang berupa *High Voltage* dan reaktor telah tersusun, maka dilakukan uji coba alat. Uji coba ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah alat dapat berjalan dengan baik, sesuai dengan prinsip-prinsip kerja dalam literatur. Cara uji coba adalah dengan menjalankan alat pada posisi *running*, lalu dialirkan limbah serta gas oksigen. Yang perlu diperhatikan dalam uji coba antara lain:

- Pembacaan tegangan saat pemunculan plasma
- Ada tidaknya ozon yang keluar sebagai hasil reaksi antara plasma dengan oksigen. Pendeteksian ozon berupa munculnya bau ozon.
- Aliran oksigen yang keluar dari pompa konstan
- Tegangan awal pemunculan lucutan dalam reaktor plasma

Uji pendahuluan dilakukan untuk mencari tegangan dan waktu kontak yang efektif. Uji pendahuluan dilakukan dengan sistem *batch* dengan parameter yang diuji hanya COD karena volume reaktor sangat kecil yaitu kurang lebih 10 ml. Penentuan tegangan efektif

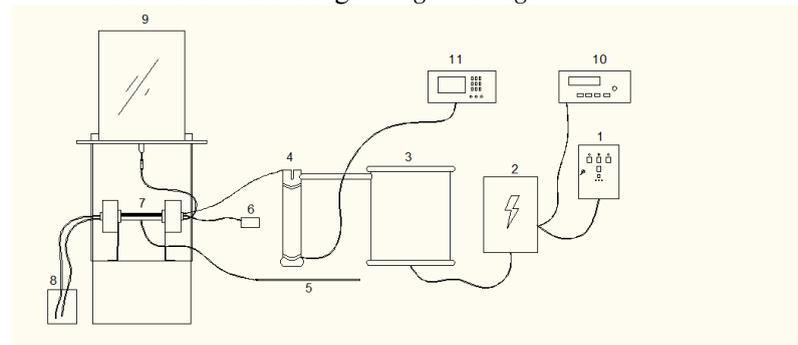
dilakukan dengan memvariasikan tegangan yaitu 6 kV, 9 kV, 12 kV, 15 kV, 18 kV dan 20 kV dengan waktu kontak selama 15 menit. Hasil menunjukkan bahwa penurunan kadar COD tertinggi dicapai pada tegangan 12 kV. Sedangkan pada penentuan waktu kontak efektif, dilakukan dengan memvariasikan waktu kontak selama 5, 10, dan 15 menit pada tegangan 12 kV. Hasil menunjukkan bahwa penurunan nilai COD yang tertinggi dicapai pada waktu kontak 10 menit, namun pada penelitian ini waktu kontak yang digunakan adalah 5 menit dengan pertimbangan efisiensi penurunan yang sudah cukup tinggi dengan waktu pengolahan yang lebih cepat.



Gambar 1. Skema Reaktor *Dielectric Barrier Discharge*

2. Tahap Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan merangkai semua alat yang telah disiapkan yaitu dimulai dengan menghubungkan kedua elektroda dengan *High Voltage*.



Gambar 2. Skema Rangkaian Alat

Proses dilanjutkan dengan mengalirkan sampel limbah dan gas oksigen murni secara bersamaan ke dalam reaktor. Sampel limbah diolah dengan reaktor plasma dengan variasi tegangan 9, 10, 11, dan 12 kV dan sirkulasi 1-7. Kecepatan aliran limbah sebesar 14 ml/menit dan *flowrate* oksigen sebesar 0,5 l/menit.

3. Tahap Analisis Penelitian

Analisis data dilakukan dengan menggunakan program microsoft excel. Metode yang digunakan dalam menganalisis relasi antarvariabel adalah dengan membuat diagram pencar (scatter diagram). Analisis data dilakukan dengan menganalisis data yang telah diperoleh dari kegiatan sampling, yaitu data konsentrasi COD dan TSS. Analisa akan meliputi analisis dengan diagram pencar untuk hubungan konsentrasi konsentrasi COD dan TSS terhadap tegangan dan sirkulasi.

Analisis secara kuantitatif dilakukan dengan menggunakan SPSS 16.0 untuk mengetahui ada tidaknya hubungan antara tegangan dan sirkulasi terhadap penurunan konsentrasi COD dan TSS pada limbah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisis Karakteristik Awal Sampel Limbah

Analisa karakteristik awal sampel limbah cair industri minuman ringan PT. Coca Cola Amatil Indonesia Ungaran Semarang dilakukan sebelum limbah diolah dengan menggunakan teknologi plasma. Data karakteristik limbah tersebut terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Uji Karakteristik Awal Sampel Limbah

No	Parameter	Hasil Uji Awal (mg/l)	Baku Mutu* (mg/l)	Keterangan
1	COD	1433,33	100 mg/l	Tidak Memenuhi
2	TSS	805	30 mg/l	Tidak Memenuhi

Keterangan:

*Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah No. 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah

Pada penelitian ini, parameter COD dan TSS menjadi parameter yang akan ditinjau dalam pengolahan dengan menggunakan teknologi plasma.

2. Hasil Uji Karakteristik Limbah Setelah Pengolahan

Data hasil penelitian diperoleh dari uji karakteristik sampel limbah industri minuman ringan yang telah mendapat perlakuan pada reaktor plasma dengan variasi tegangan dan sirkulasi. Hasil uji karakteristik akhir limbah dapat dilihat pada tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Data Hasil Uji Karakteristik Akhir Sampel Limbah

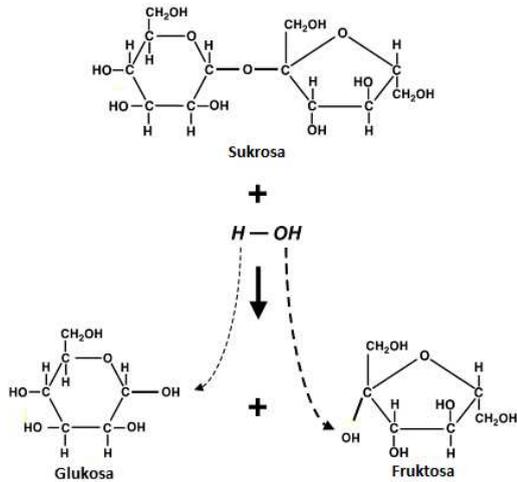
Teg (kV)	Sirkulasi	COD	TSS	Teg (kV)	Sirkulasi	COD	TSS
9	1	1367	720	11	1	1167	720
	2	1267	635		2	967	610
	3	1200	590		3	833	540
	4	867	585		4	633	460
	5	767	485		5	367	355
	6	733	320		6	233	240
	7	633	265		7	200	180
Teg (kV)	Sirkulasi	COD	TSS	Teg (kV)	Sirkulasi	COD	TSS
10	1	1000	715	12	1	1033	725
	2	967	625		2	933	540
	3	933	560		3	767	370
	4	867	525		4	533	265
	5	767	370		5	267	205
	6	700	285		6	133	145
	7	600	205		7	67	30

Efisiensi penyisihan COD dan TSS terbesar dicapai pada tegangan 12 kV sirkulasi ketujuh yaitu berturut-turut sebesar 94,87% dan 95,97%.

3. Pengaruh Tegangan terhadap Konsentrasi COD dan TSS

Variasi tegangan yang diberikan pada reaktor plasma menyebabkan terjadinya perbedaan jumlah elektron sehingga menunjukkan adanya proses ionisasi, disosiasi dan eksitasi dalam plasma yang berbeda pula. Semakin tinggi tegangan yang diterapkan, maka semakin tinggi arus listriknya. Semakin tinggi arus listrik yang mengalir pada reaktor, maka secara teoritis akan semakin banyak pula elektron yang terbentuk pada reaktor. Pembentukan spesies aktif seperti $\cdot\text{O}$, $\cdot\text{OH}$, $\cdot\text{H}$, H_2O_2 dan Ozon akan semakin meningkat seiring dengan peningkatan tegangan. Spesies aktif ini yang berperan penting untuk mendegradasi senyawa organik dalam limbah. Oleh karena itu, semakin banyak spesies aktif yang terbentuk maka semakin efektif pula penyisihan zat organik dalam limbah cair.

Pada limbah industri minuman, kandungan senyawa organik yang tinggi disebabkan karena adanya pemanis yaitu sukrosa. Sukrosa merupakan disakarida gabungan dari glukosa dan fruktosa dengan rumus kimia $C_{12}H_{22}O_{11}$. Struktur molekul dari sukrosa menunjukkan unit glukosa dan fruktosa yang digabungkan oleh atom oksigen. Berikut ini merupakan persamaan yang menunjukkan reaksi antara sukrosa dengan atom hidrogen dan radikal hidroksil [4]:

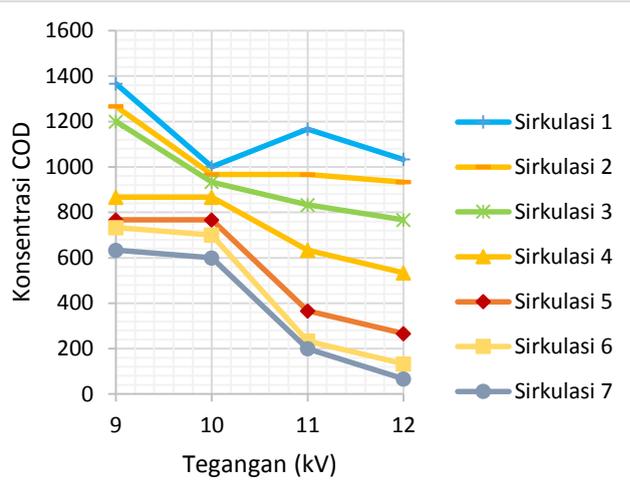


Gambar 3. Reaksi antara Sukrosa dengan Radikal Hidrogen dan Radikal Hidroksil

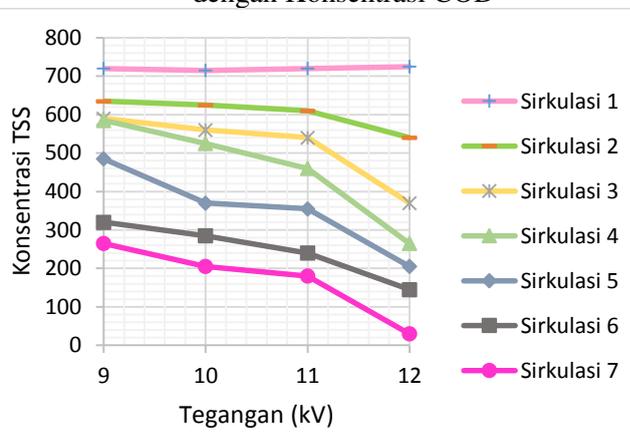
Molekul air akan terpecah menjadi radikal hidrogen dan radikal hidroksil yang selanjutnya akan memutus ikatan oksigen diantara kedua monosakarida. Radikal hidrogen akan berikatan dengan oksigen sehingga membentuk molekul glukosa, sedangkan radikal hidroksil akan berikatan dengan atom karbon membentuk fruktosa. Glukosa dan fruktosa merupakan monosakarida dengan rumus kimia $C_6H_{12}O_6$. Berikut ini merupakan persamaan stoikiometri yang menunjukkan reaksi oksidasi senyawa organik oleh atom oksigen:



Peningkatan tegangan dapat meningkatkan jumlah elektron sehingga memungkinkan terjadinya tumbukan lebih banyak, akibatnya spesies aktif yang terbentuk akan semakin meningkat pula. Spesies aktif inilah yang berperan penting dalam penguraian senyawa organik pada limbah. Oleh karena itu, peningkatan tegangan akan meningkatkan efisiensi pengolahan limbah. Hubungan antara tegangan dengan konsentrasi COD dan TSS terlihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 4. Hubungan antara Tegangan dengan Konsentrasi COD



Gambar 5. Hubungan antara Tegangan dengan Konsentrasi TSS

Dari kedua gambar di atas dapat terlihat pola grafik cukup datar antara tegangan 9 kV dan 10 kV, namun pada tegangan 10 kV, 11 kV dan 12 kV pola grafik terlihat lebih curam, hanya pada grafik hubungan antara tegangan dengan TSS yang menunjukkan pola grafik yang agak datar antara tegangan 10 kV dan 11 kV. Pada sirkulasi 7, antara tegangan 9 kV dan 10 kV selisih efisiensi penurunan COD dan TSS berturut-turut sebesar 0,24% dan 6,36%, antara tegangan 10 kV dan 11 kV sebesar 20,62% dan 3,75%, antara tegangan 11 kV dan 12 kV sebesar 10,26% dan 19,2%.

4. Pengaruh Sirkulasi terhadap Konsentrasi COD dan TSS

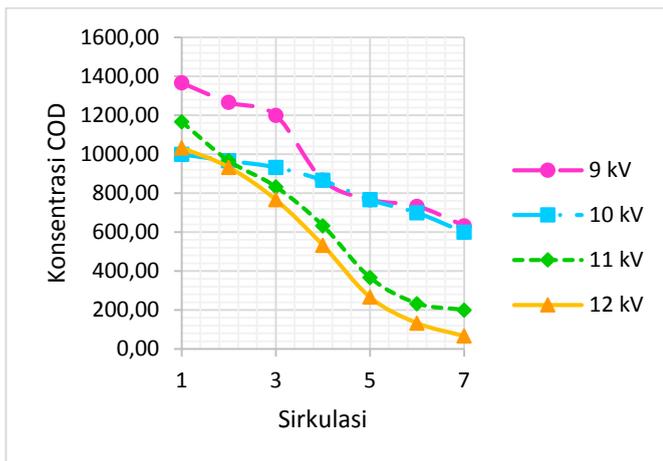
Sirkulasi perlu dilakukan beberapa kali untuk memaksimalkan proses degradasi limbah. Hal ini dikarenakan waktu hidup (*lifetime*) beberapa spesies aktif yang terbentuk sangat pendek [5]. Ozon memiliki waktu hidup

yang lebih lama yaitu sekitar 20-30 menit namun memiliki kelemahan lamban bereaksi [6]. Dengan jumlah sirkulasi yang lebih banyak, limbah dapat kontak dengan plasma lebih lama sehingga spesies aktif yang berumur pendek akan tergantikan oleh yang baru dan ozon yang terlarut akan semakin banyak.

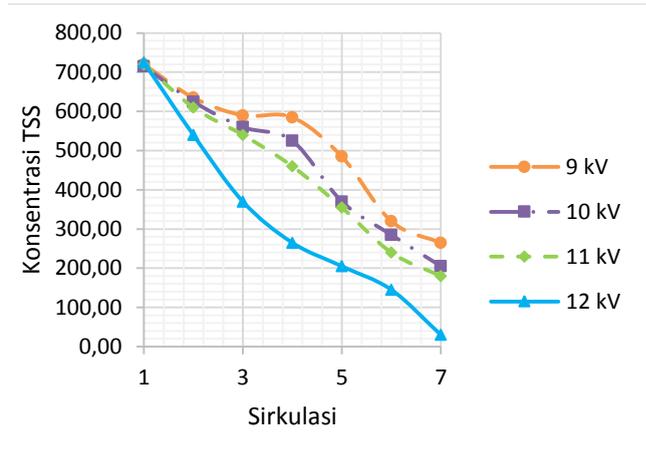
Peran spesies aktif dipengaruhi oleh pH limbah. Pada suasana basa, proses oksidasi yang terjadi cenderung mendekomposisi O_3 menjadi radikal bebas [7], dengan reaksi sebagai berikut:



Faktor lain yang menjadi pertimbangan melakukan beberapa kali sirkulasi dilihat dari banyaknya elektron. Mengalirnya arus listrik menunjukkan adanya pergerakan elektron ke dalam reaktor. Perbedaan jumlah elektron, menggambarkan perbedaan kandungan spesies aktif yang terbentuk dalam reaktor [8]. Jumlah sirkulasi merupakan faktor yang sangat penting untuk meningkatkan kontak antara limbah dengan elektron yang terbentuk. Memperbanyak jumlah sirkulasi berarti memperbanyak kemungkinan tumbukan antara elektron dengan molekul air dan oksigen (sebagai sumber gas dalam reaktor) serta memperbanyak kemungkinan terbentuknya spesies aktif yang berperan aktif dalam mendegradasi limbah. Hubungan antara sirkulasi dengan konsentrasi COD dan TSS terlihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 6. Hubungan antara Sirkulasi dengan Konsentrasi COD



Gambar 7. Hubungan antara Sirkulasi dengan Konsentrasi TSS

Dari kedua gambar di atas dapat terlihat pola grafik cukup curam pada tiap sirkulasinya, namun untuk grafik COD, pada tegangan 10 kV pola grafik terlihat lebih datar untuk tiap sirkulasinya. Pada tegangan 12 kV, antara sirkulasi 1 dan 2 selisih efisiensi penurunan COD dan TSS berturut-turut sebesar 7,69% dan 24,83, antara sirkulasi 2 dan 3 sebesar 12,82% dan 22,82%, antara sirkulasi 3 dan 4 sebesar 17,95% dan 14,09%, antara sirkulasi 4 dan 5 sebesar 20,51% dan 8,05%, antara sirkulasi 5 dan 6 sebesar 10,26% dan 8,05%, antara sirkulasi 6 dan 7 sebesar 5,13% dan 15,44%.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penurunan parameter COD dan TSS terbesar diperoleh pada tegangan 12 kV sirkulasi ketujuh. Nilai efisiensi penurunannya berturut-turut adalah 94,87% dan 95,97%.
2. Hasil analisa kualitatif, tegangan berkaitan dengan energi, memberi pengaruh terhadap jumlah elektron dan spesies aktif yang dihasilkan. Sehingga, semakin tinggi tegangan yang diberikan maka semakin besar penurunan konsentrasi COD dan TSS.
3. Hasil analisa kualitatif, sirkulasi berkaitan dengan waktu kontak antara limbah dengan plasma. Sehingga, semakin banyak jumlah sirkulasi yang diterapkan maka semakin besar penurunan konsentrasi COD dan TSS.

REFERENSI

- [1] Warsito, A. et al. 2009. *Aplikasi Reaktor Plasma Lucutan Korona untuk Menurunkan Kadar Limbah Cair Industri Minuman Ringan*. Jurusan Teknik Elektro. Semarang.
- [2] Potter, Clifton., Soeparwadi, M. Gani, Aulia.1994. *Limbah Cair Berbagai Industri di Indonesia, Sumber, Pengendalian dan Baku Mutu*. Jakarta: Project of The Ministry of State for The Environment, Republic of Indonesia and Dalhousie University Canada.
- [3] Sugiarto, Anto Tri. 2000. *Atasi Polusi dengan Plasma*. Tangerang: Pusat Penelitian KIM-LIPI.
- [4] Shachman, Maurice. 2004. *The Soft Drink Companion: A Technical Handbook for the Beverage Industry*. Florida: CRC Press.
- [5] Sugiarto, Anto Tri. 2002. *Properties of Pulsed Electrical Discharge in Water and Their Application*. Japan: Gunma University.
- [6] Munter, R., Samet T., and Abo, S.A. 2001. *Advanced Oxidation Processes Current Status and Prospect*. Proc Estonian Acad Sci Chem.
- [7] Aryanto, Imam Septana. 2007. Penurunan Kadar Fenol dan COD Pada Limbah Cair Industri Cat dengan Teknologi Plasma dalam Permukaan Air. *Skripsi*. Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro. Semarang.
- [8] Sugiarto, Anto Tri. 2003. *Reaktor Elektrical Discharge dalam Air*. Jurnal Instrumentasi. Tangerang: Puslit KIM-LIPI.