

Pemanfaatan Kitosan dan Teknologi Plasma Untuk Penyisihan COD, TSS, dan Warna Pada Limbah Cair Industri Paper & Packaging

Debby Bella Saphira¹⁾, Abdul Syakur²⁾, Purwono³⁾

^{1), 3)}Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

²⁾Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

E-mail: debbysigit@gmail.com

Abstrak

Industri paper & packaging adalah industri yang menghasilkan limbah cukup banyak karena kegiatan produksi yang berlangsung terus-menerus. Salah satu limbah yang dihasilkan adalah limbah cair yang mengandung COD, TSS, dan warna yang tinggi dan berpotensi untuk mencemari lingkungan apabila tidak diolah. Pengolahan yang dilakukan adalah pretreatment koagulasi-flokulasi dan pengolahan selanjutnya dengan teknologi plasma tegangan tinggi. Hasil pengolahan menggunakan koagulasi-flokulasi menggunakan koagulan kitosan menunjukkan terjadinya penyisihan konsentrasi optimal pada dosis 40 mg/l dengan efisiensi penyisihan COD 81,35%, TSS 96,34%, dan warna 98,18%. Kemudian limbah diolah dengan teknologi plasma dengan tegangan tinggi 15 kV dan variasi waktu kontak 10, 20, 30, 40, 50 menit. Didapatkan hasil optimal pada waktu 50 menit pada penyisihan konsentrasi COD, TSS, maupun warna. Diketahui bahwa semakin lama waktu kontak limbah dengan plasma tegangan tinggi maka semakin banyak spesies aktif pendegradasi limbah seperti H^\bullet , OH^\bullet , dan H_2O_2 yang terbentuk sehingga pendegradasian limbah akan semakin lebih baik.

Kata kunci: COD, Koagulasi-Flokulasi, Limbah Industri Paper & Packaging, Teknologi Plasma, TSS, Warna.

Abstract

Paper & packaging industry is an industry that produces waste quite a lot because of the ongoing production activities. One of the waste generated is liquid waste which contains high concentration of COD, TSS, and color and has the potential to pollute the environment if not processed. The treatment is pretreatment coagulation-flocculation and processing with high voltage plasma technology. The result of treatment using coagulation-flocculation using chitosan coagulant showed the optimal concentration removal at dose 40 mg/l with efficiency of removal of COD 81,35%, TSS 96,34%, and color 98,18%. Then the waste is processed with plasma technology with high voltage 15 kV and contact time variation 10, 20, 30, 40, 50 minutes. Optimal results obtained within 50 minutes at COD, TSS, or color concentrations. It is known that the longer the contact time of waste with high voltage plasma, the more active species degrade the waste such as H^\bullet , OH^\bullet , and H_2O_2 formed, so that the waste degradation will get better.

Key Words : COD, Coagulation-Flocculation, Industrial Waste Paper & Packaging, Plasma Technology, TSS, Color

PENDAHULUAN

Pada era yang semakin maju seperti saat ini, kebutuhan manusia semakin beragam. Sehingga banyak produk dengan inovasi baru yang dikembangkan dan membuat sektor perindustrian ikut berkembang. Tidak hanya menghasilkan produk yang bermanfaat namun perindustrian juga menghasilkan produk lain yang dapat menimbulkan pencemaran lingkungan yaitu limbah.

Salah satu industri yang juga menghasilkan limbah adalah PT. X yang bergerak di bidang *paper & packaging*. Produk yang dihasilkan berupa *Corrugated sheet*, *carton box*, dan *paper tube/cone*. Produksi kertas tidak hanya menghasilkan produk bermanfaat berupa *paper & packaging* namun

juga menghasilkan limbah produksi. Salah satu limbah yang dihasilkan adalah limbah cair yang memiliki kandungan COD, TSS, dan warna yang cukup tinggi. Berdasarkan uji yang dilakukan di PT. X, kandungan COD yang terkandung pada limbah cairnya adalah sebesar 6354 mg/L, kandungan TSS yang terkandung pada limbah cair sebesar 1850 mg/L, sedangkan untuk parameter warna tidak dilakukan uji (Lutfiyani, 2017). Jika limbah yang mengandung COD, TSS, dan warna yang tinggi langsung dibuang ke badan air akan menimbulkan pencemaran dan melanggar peraturan dari pemerintah pula.

PT. X telah melakukan pengolahan air limbah dengan berbagai macam jenis pengolahan untuk penyisihan COD, TSS, dan warna. PT. X menggunakan berbagai macam

jenis pengolahan baik secara fisika, kimia, dan biologi seperti koagulasi-flokulasi, sedimentasi, filtrasi, adsorpsi, serta melakukan pengolahan lumpur. Namun pengolahan yang telah dilakukan dirasa kurang efektif karena warna efluen dari IPAL PT. X yang belum terlalu jernih dan masih berwarna kemerahan muda dan membutuhkan waktu yang lama untuk pengolahan (Lutfiyani, 2017). Maka dibutuhkan alternatif teknologi pengolahan yang lebih efektif.

Salah satu pengolahan *pretreatment* yang dapat digunakan untuk melakukan penyisihan COD, TSS, dan warna adalah koagulasi-flokulasi. Adanya pengolahan *pretreatment* bertujuan untuk mengurangi beban pengolahan pada tahap selanjutnya. Menurut Vedrenne, *et al* (2012), proses koagulasi-flokulasi berperan dalam penurunan padatan tersuspensi total (*total suspended solid*), material organik, dan warna dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi pada pengolahan berikutnya. Terdapat penelitian lain yang dilakukan oleh Norjannah (2015) tentang penyisihan kadar TSS limbah batik menggunakan koagulan $FeCl_3$ dan didapat efisiensi penyisihan mencapai 94,51%.

Selain dari pengolahan koagulasi-flokulasi terdapat pengembangan teknologi pengolahan limbah yaitu teknologi plasma. Teknologi plasma merupakan salah satu alternatif pengolahan limbah yang dapat digunakan dengan memanfaatkan elektron energi tinggi, ion, dan spesies aktif yang dapat menyisihkan senyawa organik dan warna. Pengolahan limbah cair dengan plasma dapat menggunakan plasma jenis *Dielectric Barrier Discharge* (Nur, 2011). Diketahui dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Indrasarimmawati (2009), efisiensi penyisihan COD dan warna pada limbah cair industri tekstil menggunakan plasma *Dielectric Barrier Discharge* dengan variasi tegangan dan *flow rate* oksigen mencapai 76,5% dan 47,78%.

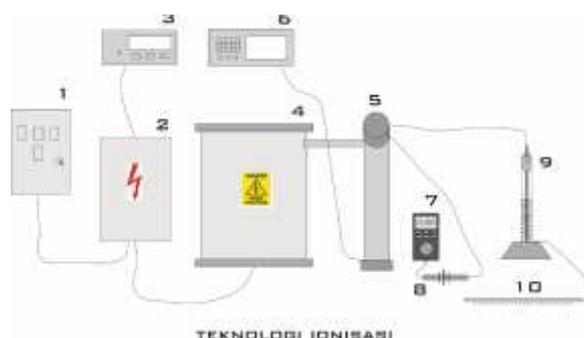
Berdasarkan uraian diatas maka pengolahan dengan *pretreatment* koagulasi-flokulasi yang dikombinasikan dengan teknologi plasma dijadikan pertimbangan untuk penelitian untuk menyisihkan kandungan COD, TSS, dan warna pada limbah cair industri *paper & packaging*. Terdapat variasi yang dilakukan yaitu memvariasikan dosis koagulan

saat proses koagulasi-flokulasi dan memvariasikan waktu kontak limbah dengan plasma yang diberikan saat proses plasma berjalan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi yang paling baik pada aplikasi teknologi ini.

METODOLOGI PENELITIAN

Sampel limbah cair berasal dari PT. X, Kabupaten Semarang. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan dan Laboratorium Konservasi Energi dan Tegangan Tinggi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang. Dosis koagulan yang digunakan bervariasi antara 10, 20, 30, 40, 50 mg/l. Waktu kontak menggunakan plasma divariasikan selama 10, 20, 30, 40, 50 menit. Kecepatan pengadukan diatur konstan 150 & 70 rpm. Sedangkan waktu pengadukan selama 15 menit. Tegangan listrik yang digunakan sebesar 15 kV. Analisis karakteristik awal sampel limbah dilakukan terlebih dahulu 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, TSS, dan warna.

Limbah diolah dengan menggunakan *pretreatment* koagulasi-flokulasi sebelum diolah dengan teknologi plasma. Tujuannya untuk mengurangi beban pencemar sebelum masuk ke plasma. Proses pengolahan limbah dengan *pretreatment* koagulasi-flokulasi dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro. Hasil pengolahan *pretreatment* diambil ± 250 ml dari tiap dosis koagulan untuk dilakukan pengolahan dengan teknologi plasma dan sisanya bisa dilakukan untuk uji konsentrasi parameter COD, TSS, dan warna. Pengolahan dengan teknologi plasma dilakukan dengan 5 (lima) variasi waktu kontak dengan tegangan sebesar 15 kV yang dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi Teknik Elektro Universitas Diponegoro Semarang. Setelah pengolahan dengan teknologi plasma, maka sampel hasil pengolahan akan dilakukan uji konsentrasi parameter COD, TSS, dan warna. Berikut adalah skema rangkaian alat pengolahan limbah dengan teknologi plasma.



Gambar 1. Skema Rangkaian Alat Plasma dengan ketentuan 1 adalah Sumber tegangan AC, 2 adalah *Regulator*, 3 adalah *Operating Terminal*, 4 adalah *Trafo Step Up*, 5 adalah *Kapasitor ukur*, 6 adalah *Digital measurement instrument*, 7 adalah *Multimeter*, 8 adalah *Probe*, 9 adalah *Reaktor Plasma*, 10 adalah *Ground*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Awal Limbah

Uji karakteristik awal limbah perlu dilakukan untuk mengetahui konsentrasi COD, TSS dan Warna limbah. Tabel 1 merupakan hasil uji karakteristik limbah cair industri *paper & packaging* yang dibandingkan dengan baku mutu yang digunakan yaitu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2012

mengenai baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan yang belum ditetapkan baku mutunya. Berdasarkan tabel 1 diketahui bahwa parameter COD, TSS, dan warna memiliki konsentrasi yang tinggi dan melebihi baku mutu yang dipersyaratkan. Oleh karena itu dilakukan pengolahan dengan *pretreatment* koagulasi-flokulasi dan teknologi plasma.

Tabel 1 Karakteristik Awal Limbah cair industri *paper & packaging* PT. X

Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Baku Mutu		Keterangan
			Gol I	Gol II	
COD	mg/l	3.692	100	250	Tidak memenuhi
TSS	mg/l	3.712	100	200	Tidak memenuhi
Warna	Pt-Co	16.096	-	-	-

Tabel 2 Hasil Penyisihan COD, TSS, dan warna dengan *Pretreatment koagulasi-flokulasi*

Dosis	Parameter	Satuan	Konsentrasi Awal	Konsentrasi
10 mg/L	COD	mg/L	3.693	1.621
	TSS	mg/L	3.712	2.256
	Warna	Pt-Co	16.096	10.279
20 mg/L	COD	mg/L	3.693	728
	TSS	mg/L	3.712	1.216
	Warna	Pt-Co	16.096	4.709
30 mg/L	COD	mg/L	3.693	694
	TSS	mg/L	3.712	452
	Warna	Pt-Co	16.096	697
40 mg/L	COD	mg/L	3.693	689
	TSS	mg/L	3.712	136
	Warna	Pt-Co	16.096	292
50 mg/L	COD	mg/L	3.693	738
	TSS	mg/L	3.712	208
	Warna	Pt-Co	16.096	532

Penyisihan COD, TSS, dan warna dengan pretreatment Koagulasi-Flokulasi

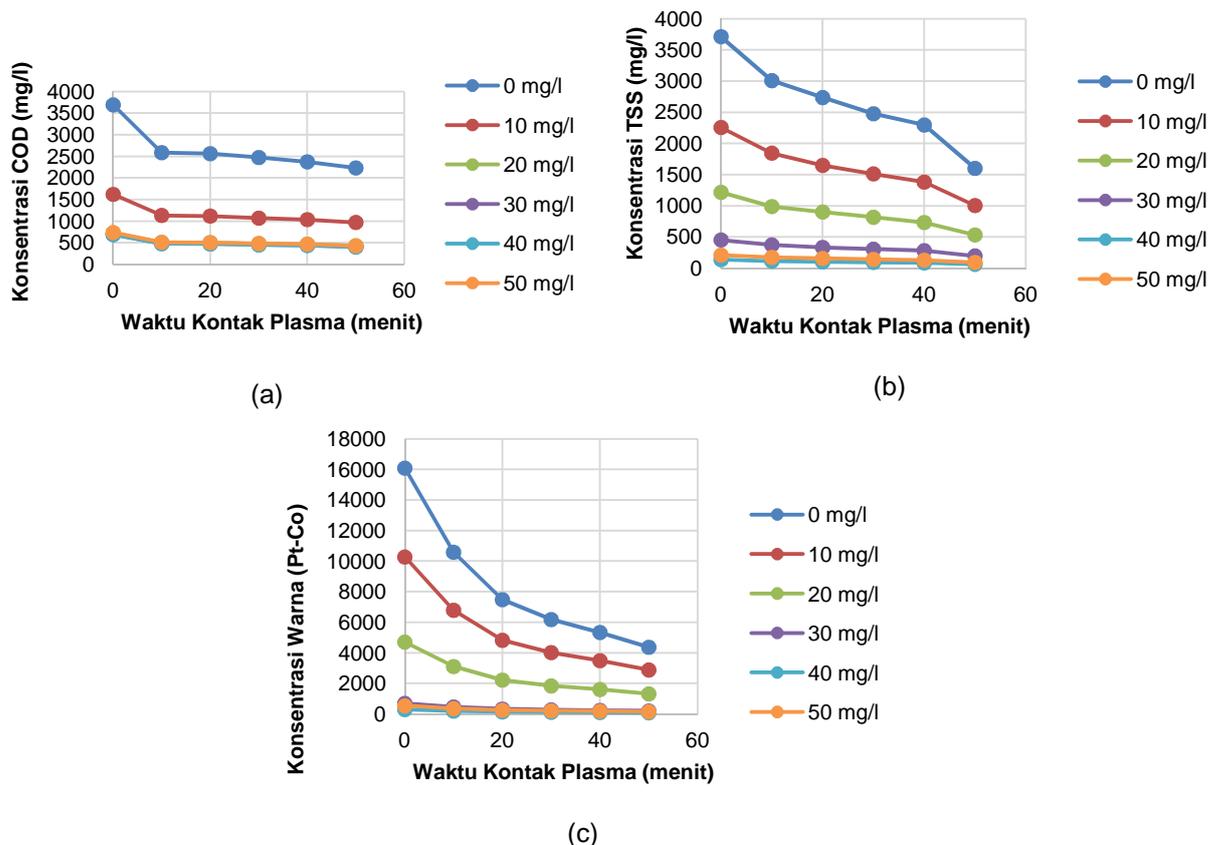
Hasil penelitian pretreatment koagulasi-flokulasi ditunjukkan pada tabel 2.

Berdasarkan tabel 2 bahwa koagulasi-flokulasi memberikan pengaruh terhadap penyisihan parameter COD, TSS, dan warna. Penyisihan optimal pada dosis koagulan 40 mg/l dengan efisiensi penyisihan COD 81%, TSS 96%, dan warna 98%. Hal ini disebabkan oleh kitosan bersifat polikationik karena memiliki gugus hidroksil dan amina sepanjang rantai polimer, hal ini mengakibatkan kitosan efektif untuk mengadsorpsi kation ion logam berat, kation dari zat organik maupun agen pengkelat (Shahidi dkk., 1999). Namun pada dosis koagulan 50 mg/l konsentrasi COD, TSS, warna justru mengalami kenaikan. Menurut Saputra, dkk (2015), penambahan koagulan

kitosan yang berlebih sangat mungkin terjadi proses restabilisasi. Prinsipnya yaitu koagulan menutupi (*covering*) koloid-koloid tanpa menghubungkan dengan koloid yang lain, sehingga terjadi pembalikan muatan pada permukaan partikel tersuspensi dan partikel yang tergumpal menjadi stabil kembali (restabilisasi).

Penyisihan COD, TSS, dan warna dengan Teknologi Plasma

Setelah dilakukan *pretreatment*, maka dilanjutkan pada pengolahan dengan teknologi plasma. Berikut grafik hasil penyisihan COD, TSS, dan warna dengan teknologi plasma.



Gambar 2. (a) Grafik hasil penyisihan kadar COD dengan Teknologi Plasma; (b) Grafik hasil penyisihan kadar TSS dengan Teknologi Plasma; (c) Grafik hasil penyisihan kadar warna dengan Teknologi Plasma

Berdasarkan gambar 2 dapat diketahui bahwa pengolahan menggunakan teknologi plasma terhadap waktu kontak menunjukkan terjadinya penurunan konsentrasi COD, TSS, dan warna. Semakin lama waktu kontak antara plasma dengan limbah maka penyisihan konsentrasi limbah juga semakin besar. Hal ini sejalan dengan pernyataan bahwa waktu hidup (*lifetime*) beberapa spesies aktif yang terbentuk itu sangat pendek (Sugiarto, 2005 dalam Karina, 2014), jika waktu untuk proses plasma semakin panjang maka tumbukan

antar elektron akan semakin banyak sehingga menghasilkan jumlah spesies aktif yang lebih banyak. Dengan bertambahnya jumlah spesies aktif maka proses degradasi pencemar akan semakin baik. Diantara spesies aktif yang terbentuk, radikal hidroksil ($\text{OH}\cdot$) dan Hidrogen Peroksida (H_2O_2) merupakan spesies yang berperan penting dalam penguraian senyawa organik dalam limbah cair (Tchobanoglous, 2003). Berikut adalah reaksi pembentukan spesies aktif.



Dengan adanya radikal hidroksil ini, maka pengolahan akan menjadi lebih cepat, karena potensial oksidasinya tinggi (2,8 V). Radikal hidroksil mengoksidasi senyawa organik dengan reaksi berantai. Senyawa organik yang terkandung dalam limbah akan terurai menjadi CO₂ dan H₂O. Berikut ini persamaan stokiometri yang menunjukkan reaksi oksidasi senyawa organik oleh atom oksigen (Eckenfelder, 2000):



Dengan adanya oksidasi yang dilakukan spesies aktif pada senyawa organik maka konsentrasi COD, TSS, dan warna akan menurun.

Selain itu dapat dilihat bahwa pengaruh parameter TSS terhadap efisiensi kinerja plasma dalam penyisihan parameter COD dan warna dapat disimpulkan bahwa keberadaan parameter TSS tidak berpengaruh secara signifikan terhadap penyisihan parameter COD dan warna. Hal ini dapat dilihat pada efisiensi penyisihan COD dan warna disaat konsentrasi TSS tinggi maupun rendah efisiensi penyisihan tidak terjadi perubahan secara signifikan.

Hasil penyisihan dengan kombinasi pretreatment koagulasi-flokulasi dan teknologi plasma

Berdasarkan Tabel 3, 4, dan 5 dapat dilihat bahwa penyisihan parameter COD, TSS, dan warna yang terbaik adalah pada dosis koagulan 40 mg/l dan pada waktu kontak 50 menit dengan efisiensi penyisihan COD 89,18%, TSS 98,38%, dan warna 99,48%.

Tabel 3. Efisiensi Penyisihan COD dengan Kombinasi Koagulasi-Flokulasi dan Plasma

Dosis Koagulan (mg/l)	Efisiensi Penyisihan COD (%)				
	10 menit	20 menit	30 menit	40 menit	50 menit
0	29,97	30,60	33,00	35,72	39,54
10	69,29	69,70	71,01	71,92	73,68
20	86,27	86,41	86,91	87,34	88,28
30	86,88	87,01	87,62	88,01	88,91
40	87,03	87,19	87,81	88,14	89,18
50	86,17	86,33	87,01	87,37	88,42

Tabel 4. Efisiensi Penyisihan TSS dengan Kombinasi Koagulasi-Flokulasi dan Plasma

Dosis Koagulan (mg/l)	Efisiensi Penyisihan TSS (%)				
	10 menit	20 menit	30 menit	40 menit	50 menit
0	18,97	26,29	33,30	38,15	56,90
10	50,32	55,60	59,27	62,82	72,95
20	73,38	75,75	78,02	80,28	85,67
30	89,98	91,06	91,81	92,46	94,72
40	96,98	97,31	97,52	97,74	98,38
50	95,37	95,80	96,23	96,55	97,52

Tabel 5. Efisiensi Penyisihan Warna dengan Kombinasi Koagulasi-Flokulasi dan Plasma

Dosis Koagulan (mg/l)	Efisiensi Penyisihan Warna (%)				
	10 menit	20 menit	30 menit	40 menit	50 menit
0	34,21	53,49	61,58	66,83	72,84
10	57,79	70,01	75,02	78,29	82,08
20	80,69	86,21	88,58	90,02	91,81
30	97,13	97,96	98,31	98,53	98,77
40	98,80	99,14	99,28	99,36	99,48
50	97,79	98,48	98,70	98,87	99,09

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat disimpulkan:

1. Pengaruh pengolahan *pretreatment* koagulasi-flokulasi pada limbah cair industri *paper & packaging* sebelum dilakukan pengolahan dengan teknologi plasma adalah dapat menyisihkan dengan dosis optimal yaitu 40 mg/l untuk parameter COD dari konsentrasi awal 3.693 mg/l menjadi 689 mg/l dengan efisiensi sebesar 81,35%, parameter TSS yang optimal dari konsentrasi awal 3.712 mg/l menjadi 136 mg/l dengan efisiensi sebesar 96,34%, dan parameter warna yang optimal dari konsentrasi awal 16.096 Pt-Co menjadi 292 Pt-Co dengan efisiensi sebesar 98,18%.
2. Pengaruh waktu kontak terhadap penyisihan konsentrasi COD, TSS, dan warna menggunakan teknologi plasma didapatkan penyisihan terbaik konsentrasi COD pada dosis koagulan 40 mg/l dan waktu kontak 50 menit dengan konsentrasi setelah *pretreatment* 689 mg/l dan akhir 400 mg/l dengan efisiensi penyisihan sebesar 41,94%. Penyisihan terbaik konsentrasi TSS pada dosis koagulan 40 mg/l dan waktu kontak 50 menit dengan konsentrasi setelah *pretreatment* 136 mg/l dan akhir 60 mg/l dengan efisiensi penyisihan sebesar 55,88% dan penyisihan terbaik konsentrasi warna pada dosis koagulan 40 mg/l dan waktu kontak 50 menit dengan konsentrasi setelah *pretreatment* 292 mg/l dan akhir 84 mg/l dengan efisiensi penyisihan sebesar 71,23%. Dari hasil tersebut diketahui bahwa semakin lama waktu kontak limbah dengan plasma maka semakin besar penyisihan pada parameter COD, TSS, dan warna.
3. Pengaruh parameter TSS terhadap efisiensi kinerja plasma dalam penyisihan parameter COD dan warna dapat disimpulkan bahwa keberadaan parameter TSS tidak berpengaruh secara signifikan terhadap penyisihan parameter COD dan warna. Hal ini dapat dilihat pada efisiensi penyisihan COD dan warna disaat konsentrasi TSS tinggi maupun rendah efisiensi penyisihan tidak terjadi perubahan secara signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

Republik Indonesia. 2012. *Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Limbah Cair*. Semarang : Gubernur Jawa Tengah.

- Eckenfelder, W.W. 2000. *Industrial Water Pollution Control*. Singapore : McGraw Hill Company.
- Indrasarimmawati. 2009. *Penurunan Warna, COD, dan TSS limbah Cair Industri Tekstil Menggunakan Teknologi Dielectric Barrier Discharge Dengan Variasi Tegangan dan Flow Rate Oksigen*. Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro. Semarang.
- Lutfiyani, Tri Diah. 2017. *Evaluasi Sistem Limbah Cair PT. Purinusa Ekapersada Semarang (Kerja Praktek)*. Departemen Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro. Semarang.
- Norjannah, Siti. 2015. *Keefektifan Dosis Koagulan Feri Klorida (FeCl₃) dalam Menurunkan Kadar Total Suspended Solids (TSS) pada Air Limbah Batik Brotoseno Masaran Sragen*.
- Nur, M.. 2011. *Fisika Plasma dan Aplikasinya*. Semarang: Penerbit Universitas Diponegoro.
- Saputra, A. 2015. *Pengaruh pH Limbah Dan Perbandingan Kitosan Dengan TSS Pada Pengendapan Limbah Cair Biskuit*. SEMINAR NASIONAL XI.
- Shahidi F, Arachchi JKV, Jeon Y.J. 1999. Food application of chitin and chitosans. *Trends in Food Sci Tech* 10:37–51.
- Karina, Amalia. 2014. *Studi Penurunan COD dan TSS pada Limbah Cair Industri Minuman Ringan dengan Menggunakan Teknologi Plasma* (skripsi). Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro. Semarang.
- Vedrenne, R. Vasquez-Medrano, D. Prato-Garcia, B.A. Frontana-Urbe, J.G. Ibanez,. 2012. Characterization and detoxification of amature landfill leachate using a combined coagulation-flocculation/photo Fenton treatment, *J. Hazard. Mater.* 205–206; 208–215