

VOLUME 5 NO. 1, JUNI 2009

PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK DENGAN PROSES ELEKTROKOAGULASI MENGGUNAKAN ELEKTRODA ALUMINIUM

Studi Kasus: Limbah Cair Gedung Syarif Thajeb (M), Universitas Trisakti

Bambang Iswanto, Mawar DS Silalahi dan Utari Ayuningtyas

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Arsitektur Lansekap dan Teknologi Lingkungan, Universitas Trisakti
Jl. Kyai Tapa, Grogol, Jakarta Barat 11440Email: biswanto@trisakti.ac.id, mawar_silalahi@yahoo.com

Abstrak

Kondisi IPAL Gedung Syarif Thajeb (M) saat ini kurang berjalan maksimal karena sering menimbulkan bau dan *effluent* memiliki kandungan materi *nondegradable* (COD dan VSS) yang masih menunjukkan konsentrasi yang tinggi, yaitu COD dan VSS sebesar 6727,27 mg/L dan 2915 mg/L. Sehingga dalam penelitian ini dilakukan pengolahan limbah dengan proses elektrokoagulasi secara kontinue dengan menggunakan reaktor elektrokoagulasi dalam skala laboratorium. Pada proses ini digunakan konsentrasi NaCl untuk memperbesar penguraian Al terlarut, variasi konsentrasi NaCl yang digunakan adalah 0 gr/L, 0,5 gr/L, 1 gr/L dan variasi waktu tinggal 45 detik, 55 detik, 60 detik serta variasi kecepatan pengadukan 150 rpm, 180 rpm, 200 rpm. Kecepatan pengadukan di unit flokulasi adalah 20 rpm dengan waktu pengendapan selama 2 jam. Pada hasil penelitian diperoleh kondisi operasional optimum dengan konsentrasi NaCl 0,5 gr/L, kecepatan pengadukan 180 rpm dan waktu tinggal 55 detik, dengan % penyisihan COD sebesar 95,43%, BOD 95,05%, TSS 98,98%, Detergen 90,08%, Minyak Lemak 84,10 %, TKN 65,30%, VSS 99,21%, Total Phosphat 62,88% dan Kekeruhan 96,30%. Sedangkan jika digunakan dengan konsentrasi NaCl 0 gr/L, kecepatan pengadukan 180 rpm dan waktu tinggal 55 detik (sebagai pembanding), maka % penyisihan COD sebesar 95,54%, BOD 95,93%, TSS 98,94%, Detergen 86,92%, Minyak Lemak 31,80 %, TKN 59,70%, VSS 99,38%, Total Phosphat 25,34% dan Kekeruhan 98,70%.

Abstract

Domestic waste water treatment according to electrocoagulation process with alluminium electrode. The treatment condition is not working well, because of the smell bad, polluter, and the effluent have nondegradable material (COD and VSS) with high concentration, that is COD and VSS in the amount of 6727,27 mg/L and 2915 mg/L. This Research exactly do it processes domestic wastewater according to elektrocoagulation process on laboratorium scale. NaCl concentrated variation, is using 0 gr/L, 0,5 gr/L, 1 gr/L and detention time (td) variation, is using 45 second, 55 second, 60 second, with rapid mixing variation are 150 rpm, 180 rpm, 200 rpm. Rapid mixing in flocculation unit is 20 rpm and detention time of sedimentation is 2,26 – 3,02 hours. Research result get optimum operational condition with NaCl concentrated 0,5 gr/L, rapid mixing 180 rpm, and detention time 55 second, with % removal COD is 95,43%, BOD 95,05%, TSS 98,98%, Detergen content 90,08%, Oil and Grease 84,10%, TKN 65,30%, VSS 99,21%, Phosphate 62,88% and Turbidity 96,30%. If with NaCl concentrated 0 gr/L, rapid mixing 180 rpm, and detention time 55 second (as aqualizer), with % removal COD is 95,54%, BOD 95,93%, TSS 98,94%, Detergent 86,92%, Oil and Grease 31,80%, TKN 59,70%, VSS 99,38%, Phosphate 25,34% and Turbidity 98,70%.

Keywords: Research, Elektrocoagulation Treatment, Optimum Condition

1. Pendahuluan

Air limbah domestik ini berasal dari aktivitas-aktivitas umum (MCK dan lain-lain) pada gedung Syarif Thajeb (M). Air hasil olahan IPAL gedung M selama ini langsung di buang ke saluran kota. Kondisi pengolahan

saat ini kurang berjalan dengan maksimal, karena sering menimbulkan bau. Atas dasar permasalahan tersebut maka perlu dilakukan penelitian tentang jenis pengolahan yang sesuai dengan karakteristik air limbah yang dihasilkan, sehingga dalam penelitian ini akan

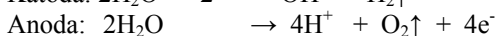
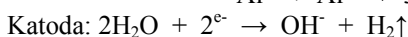
dilakukan pengolahan air limbah domestik dengan proses elektrokoagulasi.

Reaktor elektrokoagulasi dioperasikan secara kontinu, dengan menggunakan lempengan aluminium sebagai anoda bermuatan positif sebagai elektroda. Penelitian ini mengolah limbah cair gedung Syarif Thajeb (M) di dalam reaktor dengan aliran turbulen dan dialiri arus listrik searah supaya ion-ion yang ada pada limbah cair gedung Syarif Thajeb (M) teradsorpsi oleh ion-ion pengikat yang dilepaskan oleh elektroda pada alat elektrokoagulasi sehingga akan terjadi ikatan antara ion senyawa organik yang ada pada limbah cair gedung Syarif Thajeb (M) dengan ion yang disebabkan oleh proses elektrokoagulasi. Proses elektrokoagulasi merupakan gabungan dari proses elektrokimia dan proses koagulasi-flokulasi. Pada proses elektrokimia akan terjadi pelepasan Al^{3+} dari lempengan elektroda (anoda) sehingga membentuk flok Aluminium Hidroksida yang mampu mengikat kontaminan dan partikel-partikel dalam limbah.

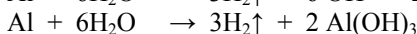
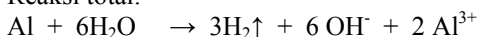
Penelitian elektrokoagulasi ini merupakan alternatif lain dari pengolahan kimiawi untuk dijadikan bahan pertimbangan agar mencapai hasil pengolahan yang berada dibawah standar baku mutu (Kep. Gub. DKI No. 582/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Industri/Perusahaan/Badan) yang telah ditetapkan oleh pemerintah serta dengan harapan agar dapat lebih efisien dan lebih baik efisiensi pengolahannya.

2. Metodologi Penelitian

Mekanisme Proses Elektrokoagulasi. Sebuah reaktor elektrokoagulasi adalah sel elektrokimia dimana anoda (biasanya menggunakan aluminium atau besi) digunakan sebagai agen koagulan. Dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



Reaksi total:



Gas $O_2\uparrow$ yang terbentuk sangat kecil dan diabaikan. Dari reaksi tersebut akan dihasilkan gas dan buih serta terjadi pelepasan Al^{3+} dari plat elektroda sehingga membentuk flok $Al(OH)_3$ yang mampu mengikat kontaminan dan partikel-partikel dalam limbah.

Penelitian Pendahuluan. Spesifikasi kondisi alat; Menentukan kondisi operasi; Spesifikasi kondisi proses yaitu penimbangan anode aluminium dan mengetahui pengaruh konsentrasi NaCl, kecepatan pengadukan dan waktu tinggal dalam air limbah terhadap Al terlarut.

Penelitian Lanjutan. Pengamatan proses secara temperat dengan elektrokoagulasi dalam penyisihan parameter COD. Optimasi waktu tinggal, kecepatan pengaduk dan konsentrasi NaCl. Penyisihan parameter COD, BOD, VSS, TSS, TKN, kandungan deterjen, minyak dan lemak, total temperatur, kekeruhan, pH dan temperatur.

3. Hasil dan Pembahasan

Sumber air limbah Gedung Syarif Thajeb (M) berasal dari kegiatan kamar mandi, tempat pencucian piring dan pengepelan lantai. Berdasarkan hasil pengamatan, jam puncak orang menuju kamar mandi di Gedung M terjadi antara $09^{00} - 10^{00}$ dan $12^{00} - 13^{00}$. Kegiatan pencucian piring, pengepelan lantai dan pembersihan kamar mandi memberikan kontribusi kandungan deterjen pada air limbah Gedung M. Frekuensi pengepelan lantai dilakukan sebanyak 1 – 2 kali setiap harinya, dengan takaran dua tutup botol kecil untuk seperempat ember ukuran sedang. Pencucian piring umumnya sering dilakukan pada siang dan sore hari, sedangkan pembersihan kamar mandi dilakukan pada pagi hari. Air limbah yang berasal dari kamar mandi berupa *faeces* (tinja) dan *urine* (air seni).

Penelitian pendahuluan dilakukan dengan lima variasi konsentrasi NaCl yaitu 0 gr/L, 0,5 gr/L, 0,8 gr/L, 1 gr/L dan 1,6 gr/L dan tiga variasi waktu tinggal yaitu 45 detik, 55 detik dan 60 detik serta tiga variasi kecepatan pengadukan yaitu 150 rpm, 180 rpm dan 200 rpm. Kesimpulannya menyatakan bahwa variasi konsentrasi NaCl mempengaruhi besarnya jumlah Al terlarut (Al^{3+}). Semakin besar konsentrasi NaCl, maka semakin besar jumlah Al terlarut (Al^{3+}) dalam air limbah. Dengan adanya penambahan NaCl, reaksi yang terjadi pada unit elektrokoagulasi akan menghasilkan gelembung gas yang berwarna putih dan buih. Terbentuk gas H_2 pada Katoda yang berfungsi sebagai pengadukan [3].

Kecepatan pengadukan tidak berpengaruh terhadap Al terlarut (Al^{3+}) dalam air limbah, sedangkan variasi waktu tinggal mempengaruhi jumlah Al terlarut (Al^{3+}). Semakin lama waktu tinggalnya, maka semakin besar jumlah Al terlarut (Al^{3+}) yang dihasilkan. Al terlarut (Al^{3+}) yaitu hasil elektrolisa logam Aluminium yang dialiri arus searah terjadi dalam unit elektrokoagulasi. Al terlarut (Al^{3+}) sebagai koagulan sehingga membentuk flok Aluminium Hidroksida berfungsi untuk mengikat kontaminan dan partikel-partikel dalam limbah [4].

Pada konsentrasi NaCl 0 gr/L mempunyai koefisien arah $tg \alpha = 0,0005$ dan pada penambahan konsentrasi NaCl 0,5 gr/L mempunyai koefisien arah $tg \alpha = 0,001$. Dari konsentrasi NaCl 0 gr/L ke konsentrasi NaCl 0,5 gr/L koefisien arah $tg \alpha$ -nya menjadi 2 kali lipat, untuk selanjutnya penambahan konsentrasi NaCl ($tg \alpha$) tidak

banyak berubah sampai dengan penambahan konsentrasi NaCl 1,6 gr/L baru terjadi perubahan yang berarti yaitu koefisien arah α -nya menjadi 1,8 kali lipat dari koefisien arah α pada konsentrasi NaCl 0,5 gr/L. jadi dapat disimpulkan bahwa konsentrasi NaCl 0 gr/L ke konsentrasi NaCl 0,5 gr/L laju penambahan Al terlarutnya (Al^{3+}) sangat pesat. Dengan demikian, konsentrasi NaCl 0 gr/L dan konsentrasi 0,5 gr/L merupakan pilihan sebagai batas kondisi optimum.

Pada unit elektrokoagulasi, dengan menggunakan lempengan aluminium sebagai anoda yang bermuatan positif sebagai elektroda (terjadi oksidasi), mengolah limbah cair gedung Syarif Thajeb (M) di dalam reaktor dengan aliran turbulen dan dialiri arus listrik searah supaya ion-ion yang ada pada limbah cair gedung Syarif Thajeb (M) teradsorpsi oleh ion-ion pengikat yang dilepaskan oleh elektroda pada alat elektrokoagulasi sehingga akan terjadi ikatan antara ion senyawa organik yang ada pada limbah cair gedung Syarif Thajeb (M) dengan ion yang disebabkan oleh proses elektrokoagulasi.

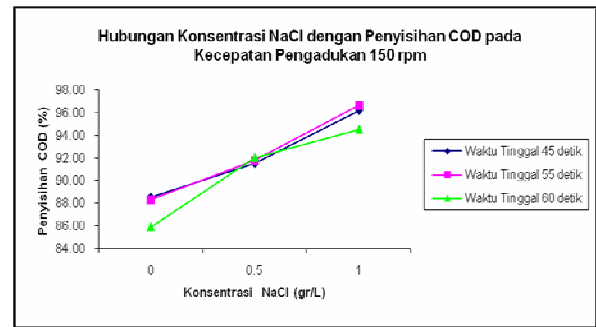
Proses elektrokoagulasi merupakan gabungan dari proses elektrokimia dan proses koagulasi-flokulasi. Pada proses elektrokimia akan terjadi pelepasan Al^{3+} dari lempengan elektroda (anoda) sehingga membentuk flok Aluminium Hidroksida yang mampu mengikat kontaminan dan partikel-partikel dalam limbah. Al terlarut (Al^{3+}) yaitu hasil elektrolisa logam Aluminium yang dialiri arus searah terjadi dalam unit elektrokoagulasi. Reaktor elektrokoagulasi dioperasikan secara kontinu. Menghasilkan gelembung gas yang berwarna putih dan buih [5].

Dengan adanya penambahan NaCl pada limbah gelembung gas H_2 yang terbentuk mempunyai ukuran yang lebih kecil dan akan mereduksi *power* pengadukan sehingga akan menambah efisiensi, NaCl merupakan larutan elektrolit berfungsi sebagai katalisator karena ikut dalam mekanisme reaksi tetapi tidak ikut bereaksi. NaCl merupakan elektrolit kuat mempunyai daya hantar lebih baik daripada elektrolit lemah [6]. Hal ini terjadi karena molekul zat elektrolit kuat akan lebih banyak yang terion jika dibandingkan dengan molekul zat elektrolit lemah.

Pada unit elektrokoagulasi, kondisi operasi menggunakan variasi konsentrasi NaCl 0 gr/L, 0,5 gr/L, 1 gr/L, dengan variasi kecepatan pengadukan 150 rpm, 180 rpm, 200 rpm dan dengan variasi waktu tinggal 45 detik, 55 detik, 60 detik. Penelitian ini menggunakan variasi konsentrasi 0 gr/L, 0,5 gr/L dan 1 gr/L.

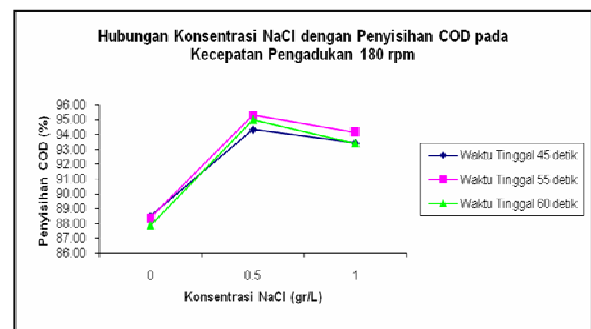
Pada Gambar 1 diketahui pada kecepatan pengadukan 150 rpm dengan konsentrasi NaCl 1 gr/L dan dengan waktu tinggal 55 detik mempunyai persen (%)

penyisihan 96,64% yang lebih besar daripada dengan waktu tinggal 45 detik dan 60 detik.

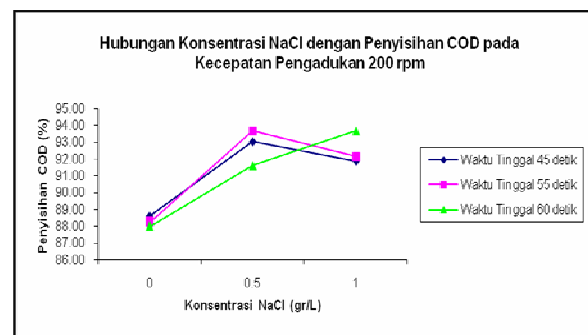


Gambar 1. Hubungan kadar NaCl dengan penyisihan COD pada pengadukan 150 rpm

Gambar 2 menunjukkan kecepatan pengadukan 180 rpm dengan konsentrasi NaCl 0,5 gr/L dan dengan waktu tinggal 55 detik mempunyai persen (%) penyisihan 95,29% yang lebih besar daripada dengan waktu tinggal 45 detik dan 60 detik.



Gambar 2. Hubungan kadar NaCl dengan penyisihan COD pada pengadukan 180 rpm



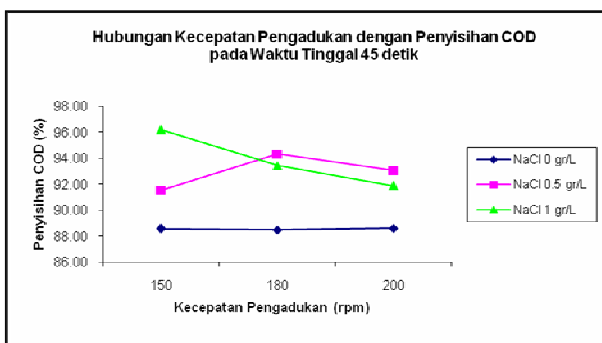
Gambar 3. Hubungan kadar NaCl dengan penyisihan COD pada pengadukan 200 rpm

Pada Gambar 3 diketahui pada kecepatan pengadukan 200 rpm dengan konsentrasi NaCl 0,5 gr/L dan dengan waktu tinggal 55 detik mempunyai persen (%)

penyisihan 93,67% yang lebih besar daripada dengan waktu tinggal 45 detik dan 60 detik.

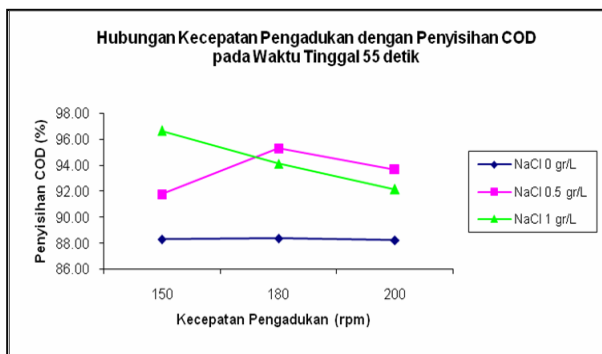
Dari grafik-grafik di atas dapat disimpulkan bahwa konsentrasi NaCl 0,5 gr/L merupakan konsentrasi NaCl yang optimum dan dari hasil penelitian pendahuluan, konsentrasi NaCl 0,5 gr/L mempunyai jumlah Al terlarut (Al^{3+}) dan koefisien arah yang relatif efektif.

Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap persen (%) penyisihan COD ini dilakukan dengan menggunakan tiga variasi kecepatan pengadukan 150 rpm, 180 rpm dan 200 rpm.



Gambar 4. Hubungan kecepatan pengadukan dengan penyisihan COD pada waktu tinggal 45 detik

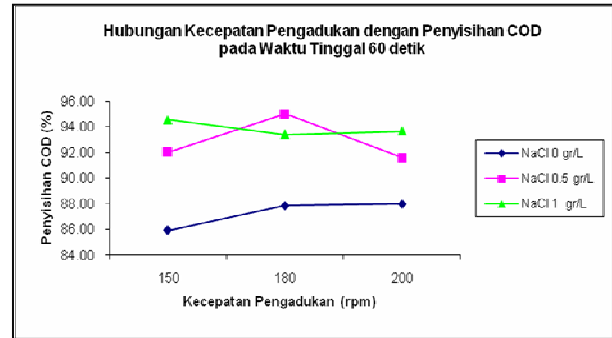
Gambar 4. di atas menunjukkan pada waktu tinggal 45 detik dengan kecepatan pengadukan 150 rpm dan dengan konsentrasi NaCl 1 gr/L dan mempunyai persen (%) penyisihan COD yang tertinggi yaitu 96,18%.



Gambar 5. Hubungan kecepatan pengadukan dengan penyisihan COD pada waktu tinggal 55 detik

Berdasarkan Gambar 5 diketahui pada waktu tinggal 55 detik dengan kecepatan pengadukan 150 rpm dan dengan konsentrasi NaCl 1 gr/L dan mempunyai persen (%) penyisihan COD yang tertinggi yaitu 96,64%.

Dari Gambar 6 diketahui pada waktu tinggal 60 detik dengan kecepatan pengadukan 180 rpm dan konsentrasi NaCl 0,5 gr/L mempunyai persen (%) penyisihan COD yang tertinggi yaitu 95%.



Gambar 6. Hubungan kecepatan pengadukan dengan penyisihan COD pada waktu tinggal 60 detik

Berdasarkan grafik-grafik di atas dapat disimpulkan bahwa kecepatan pengadukan yang optimum adalah 150 rpm dan 180 rpm, dengan pertimbangan bahwa pada konsentrasi NaCl 0 gr/L dan konsentrasi NaCl 0,5 gr/L merupakan pilihan, maka pada kecepatan 180 rpm juga merupakan pilihan kondisi optimum.

Melalui rangkaian grafik-grafik di atas diketahui pula konsentrasi NaCl 1 gr/L terjadi penurunan efisiensi penyisihan COD, hal ini disebabkan pengaruh elektrolit dari luar pada sistem koloid yang mengakibatkan bertambahnya ion positif dalam larutan sehingga partikel menjadi tidak stabil karena berkurangnya gaya tolak. Bila terdapat gaya tarik menarik yang tidak sama besarnya dengan gaya tolak antar lapisan ganda elektrik maka tidak terjadi ikatan jika terjadi kontak.

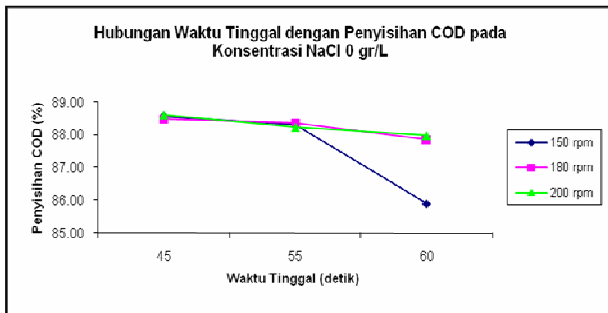
Pengaruh waktu tinggal terhadap persen (%) penyisihan COD ini dilakukan dengan menggunakan variasi waktu tinggal 45 detik, 55 detik dan 60 detik.

Pada grafik Gambar 7 diketahui pada konsentrasi NaCl 0 gr/L dengan waktu tinggal 45 detik dan dengan kecepatan pengadukan 200 rpm mempunyai persen penyisihan COD yang tertinggi yaitu 88,60%.

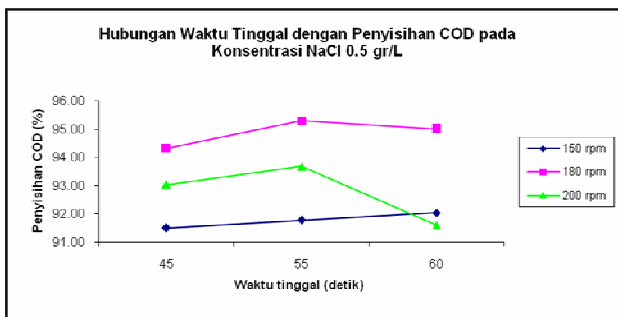
Sedangkan Gambar 8 menunjukkan pada konsentrasi NaCl 0,5 gr/L dengan waktu tinggal 55 detik dan dengan kecepatan pengadukan 180 rpm mempunyai persen penyisihan COD yang tertinggi yaitu 95,29%.

Pada grafik Gambar 9 menunjukkan pada konsentrasi NaCl 1 gr/L dengan waktu tinggal 55 detik dan dengan kecepatan pengadukan 150 rpm mempunyai persen penyisihan COD yang tertinggi yaitu 96,64%.

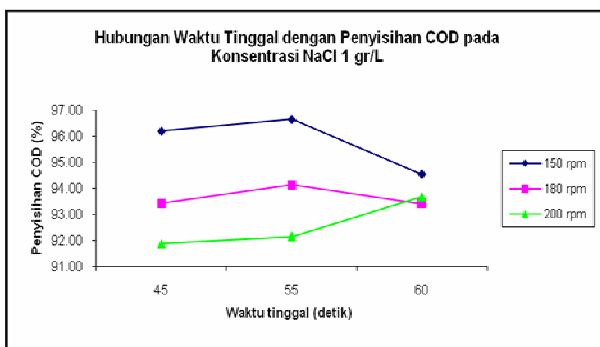
Dari grafik-grafik di atas disimpulkan bahwa waktu tinggal 55 detik merupakan waktu tinggal yang optimum, sehingga didapat kondisi operasi yang optimum yaitu dengan menggunakan konsentrasi NaCl 0,5 gr/L pada kecepatan pengadukan 180 rpm dan waktu tinggal 55 detik.



Gambar 7. Hubungan waktu tinggal dengan penyisihan COD pada konsentrasi NaCl 10 gr/L.



Gambar 8. Hubungan waktu tinggal dengan penyisihan COD pada konsentrasi NaCl 0,5gr/L



Gambar 9. Hubungan waktu tinggal dengan penyisihan COD pada konsentrasi NaCl 1 gr/L

Pengolahan limbah pada kondisi optimum ini menggunakan konsentrasi NaCl, kecepatan pengadukan dan waktu tinggal yang optimum yaitu 0,5 gr/L NaCl, 180 rpm dan 55 detik. Parameter COD (konsentrasi turun dari 6727,27 mg/L hingga 307,69 mg/L), diperoleh % penyisihan 95,43%. BOD (konsentrasi

turun dari 4750 mg/L hingga 234,95 mg/L), diperoleh % penyisihan 95,05%. TSS (konsentrasi turun dari 2255 mg/L hingga 23 mg/L), diperoleh % penyisihan 98,98%. Detergen (konsentrasi turun dari 1,2 mg/L hingga 0,12 mg/L), diperoleh % penyisihan 90,08%. Minyak Lemak (konsentrasi turun dari 113,2 mg/L hingga 18 mg/L), diperoleh % penyisihan 84,10%. TKN (konsentrasi turun dari 100 mg/L hingga 34,70 mg/L), diperoleh % penyisihan 65,30%. VSS (konsentrasi turun dari 2915 mg/L hingga 23 mg/L), diperoleh % penyisihan 99,21%. Total Phosphat (konsentrasi turun dari 7,3 mg/L hingga 2,71 mg/L), diperoleh % penyisihan 62,88%. Keekeruhan (konsentrasi turun dari 200 mg/L hingga 7,4 mg/L), diperoleh % penyisihan 96,30%.

Sebagai pembanding proses maka digunakan konsentrasi NaCl yaitu 0 gr/L, 180 rpm dan 55 detik. Parameter COD (konsentrasi turun dari 6727,27 mg/L hingga 300 mg/L), diperoleh % penyisihan 95,54%. BOD (konsentrasi turun dari 4750 mg/L hingga 193,35 mg/L), diperoleh % penyisihan 95,93%. TSS (konsentrasi turun dari 2255 mg/L hingga 24 mg/L), diperoleh % penyisihan 98,94%. Detergen (konsentrasi turun dari 1,2 mg/L hingga 0,16 mg/L), diperoleh % penyisihan 86,92%. Minyak Lemak (konsentrasi turun dari 113,2 mg/L hingga 77,2 mg/L), diperoleh % penyisihan 31,80%. TKN (konsentrasi turun dari 100 mg/L hingga 40,30 mg/L), diperoleh % penyisihan 59,70%. VSS (konsentrasi turun dari 2915 mg/L hingga 18 mg/L), diperoleh % penyisihan 99,38%. Total Phosphat (konsentrasi turun dari 7,3 mg/L hingga 5,45 mg/L), diperoleh % penyisihan 25,34%. Keekeruhan (konsentrasi turun dari 200 mg/L hingga 2,6 mg/L), diperoleh % penyisihan 98,70%.

Pada sampel awal, nilai konsentrasi COD tinggi sebesar 6727,27 mg/L. Hal tersebut disebabkan pada saat pengambilan sampel limbah diambil secara *grab* (sesaat) tanpa melalui proses pengendapan terlebih dahulu. Data tersebut menunjukkan dengan menggunakan proses elektrokoagulasi dalam pengolahan limbah Gedung M didapat persen (%) penyisihan yang terbesar yaitu pada persen (%) penyisihan parameter VSS. Parameter COD, BOD dan Minyak ternyata masih jauh di atas baku mutu (Kep. Gub. DKI Jakarta No. 582/1995 tentang baku mutu limbah cair industri/perusahaan/badan lebih kecil) yaitu 100 mg/L, 75 mg/L dan 5 mg/L. Jadi, untuk parameter COD, BOD dan Minyak Lemak harus melewati proses pengolahan lebih lanjut.

4. Kesimpulan

Karakteristik air limbah domestik Gedung M memiliki konsentrasi COD, BOD, TSS, Detergen, Minyak dan Lemak, TKN, VSS, Total Phosphat, pH, Temperatur dan Keekeruhan yaitu sebesar 6727,27 mg/L, 4750 mg/L,

2255 mg/L, 1,2 mg/L, 113,2 mg/L, 100 mg/L, 2915 mg/L, 7,3 mg/L, 7,68, 30 °C dan 200 NTU.

Diperoleh kondisi yang optimum dengan menggunakan konsentrasi NaCl 0,5 gr/L pada kecepatan pengadukan 180 rpm dan waktu tinggal 55 detik, efisiensi persen (%) penyisihan pengolahan limbah domestik dengan proses elektrokoagulasi adalah sebesar 95,29%.

Daftar Acuan

- [1] Iswanto, Bambang, Pengolahan Limbah Cair Emulsi Minyak-Air dengan Proses Elektroflokulasi dalam Reaktor Berpengaduk secara Kontinue, Bandung: Tesis Magister Teknik Lingkungan, Fakultas Pasca Sarjana, ITB, 2001.
- [2] Benefield, Larry. D, Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment, New Jersey: Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, 1982.
- [3] Hanupurti, Dhiti Adiya, Mekanisme Proses Elektrokoagulasi, Bandung: Pasca Sarjana, ITB, 2008.
- [4] Prayitno, Kajian Proses Elektrokoagulasi untuk Pengolahan Limbah Cair, Jogjakarta: STTL, 2008.
- [5] Hudori, Pengolahan Air Limbah Laundry dengan Menggunakan Elektrokoagulasi, Bandung: Tesis Magister, Fakultas Pasca Sarjana, ITB, 2008.
- [6] Pravitasari, Vidya Ayu, Penurunan Konsentrasi TSS (Total Suspended Solids) dan Minyak Lemak pada Limbah Cair Industri Batik Rara Djonggrang Yogyakarta dengan Metode Elektrokoagulasi, Jogjakarta: UII, 2008.