

**ANALISIS SPESIES LOGAM Fe(II), Fe(III), Cr(III) DAN Cr(VI) DALAM LIMBAH CAIR INDUSTRI MENGGUNAKAN METODE KOMBINASI SPEKTROFOTOMETRI UV-TAMPAK DAN SPEKTROFOTOMETRI SERAPAN ATOM (AAS)**

**TITIN MUSTANGINAH**  
MTsN 3 Cilacap  
e-mail: [titinhiskia@gmail.com](mailto:titinhiskia@gmail.com)

**ABSTRAK**

Telah dilakukan analisis spesies Fe(II), Fe(III) dan Cr(VI), Cr(III) dalam limbah cair industri menggunakan metode kombinasi spektrofotometri UV-tampak dan spektrofotometri serapan atom (AAS). Analisis spesies Fe(II) menggunakan ligan 1,10-fenantrolin dan Cr(VI) menggunakan ligan 1,5-difenilkarbazid sebagai pengompleks, spesies Fe(III) dan Cr(III) ditentukan secara tidak langsung dari selisih Fe dan Cr total dengan Fe(II) dan Cr(VI). Penentuan spesies Fe(II), Cr(VI) menggunakan spektrofotometer UV-tampak diawali dengan penentuan kondisi optimum analisis. Kondisi optimum percobaan yang diperoleh diaplikasikan dalam analisis spesies Fe(II) dan Cr(VI) dalam beberapa sampel limbah cair industri dengan teknik kurva kalibrasi. Metode AAS untuk menganalisis Fe total dan Cr total. Kemudian dari hasil tersebut berturut-turut dihitung selisih konsentrasi spesies Fe(II) dan Cr(VI) dengan Fe dan Cr total sehingga diperoleh konsentrasi spesies Fe(III) dan Cr(III). Kondisi optimum penentuan spesies Fe(II) adalah panjang gelombang maksimum 510 nm, waktu kestabilan sampai 450 menit, rasio mol ligan:Fe(II) = 7:1 dan pH larutan  $\approx$  6,0. Untuk kompleks Cr(VI)-DPC panjang gelombang maksimum 540 nm, waktu stabil kompleks dimulai menit ke-5 sampai ke-60, rasio mol Cr(VI):ligan = 1:43 dan pH larutan  $\approx$  2,0. Hasil spesiasi logam menunjukkan spesies Fe(II) dalam limbah cair industri penyamakan kulit sebesar 0,16–0,26 ppm, limbah pelapisan logam 8,88 ppm, limbah tekstil 0,09–0,25 ppm, limbah IPAL TPA Piyungan 0,09–0,26 ppm, limbah batik 0,00–1,05 ppm. Spesies Cr(VI) dalam limbah cair industri penyamakan kulit 0,00–0,16 ppm, limbah pelapisan logam 1427,40 ppm, limbah tekstil 0,01–0,03 ppm, limbah IPAL TPA Piyungan 0,00–0,15 ppm, limbah batik 0,00–0,02 ppm. Hasil penentuan spesies Fe(III) dalam limbah cair industri penyamakan kulit adalah 0,07–0,26 ppm, limbah pelapisan logam 18,17 ppm, limbah tekstil 0,09–0,52 ppm, limbah IPAL TPA Piyungan 0,03–2,35 ppm, limbah batik 0,01–0,50 ppm. Adapun untuk spesies Cr(III) dalam limbah cair industri penyamakan kulit diperoleh kadar 0,00–1,88 ppm, limbah pelapisan logam 277,66 ppm, limbah tekstil 0,01–0,03 ppm, limbah IPAL TPA Piyungan 0,02–0,11 ppm, limbah batik 0,01–0,02 ppm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode spektrofotometri UV-tampak yang dikombinasikan dengan AAS dapat digunakan untuk analisis spesiasi logam Fe dan Cr dalam sampel lingkungan.

**Kata kunci :** Besi, Kromium, 1,10-fenantrolin, 1,5-difenilkarbazid dan Limbah cair industri

**ABSTRACT**

Iron(II), iron(III), chromium(VI) and chromium(III) in industrial waste water were determined using combination of UV-Visible spectrophotometry and atomic absorption spectrophotometry (AAS). Species of iron(II) was analyzed as its 1,10-phenanthroline complex and Cr(VI) as its 1,5-diphenylcarbazide complex, whereas species of Fe(III) and Cr(VI) were calculated indirectly by the difference after analyzing the total Fe and Cr by AAS. For the determination of Fe(II) and Cr(VI) species using a spectrophotometer UV-Visible, the optimum conditions of analysis were first investigated. The optimum experimental conditions obtained were then applied for the analysis of Fe(II) and Cr(VI) in some industrial waste water samples using

calibration curve techniques. For the analysis of total Fe and Cr, AAS was used. Finally, from these results of the two methods the concentration of Fe(III) and Cr(VI) were estimated by subtracting the concentration of species Fe(II) and Cr(VI) from the total concentration of Fe and Cr, respectively. From the study, it was obtained that optimum conditions for determining the species Fe(II) is at maximum wavelength of 510 nm, stability time up to 450 min, mole ratio of ligand to Fe = 7:1 and pH  $\approx$  6. For Cr(VI)-DPC complex it was found that  $\lambda_{\max}$  = 540 nm, stability time from 5–60 min, mole ratio of Cr(VI): ligand = 1:43 and pH  $\approx$  2.0. The metal speciation analysis results indicated that the concentration of Fe(II) in tannery waste water was 0.16–0.26 ppm, in metal plating wastes was 8.88 ppm, in textile wastes = 0.09–0.25 ppm, in Piyungan IPAL TPA waste water 0.09–4.26 ppm and in batik waste water 0.00–1.05 ppm. Species of Cr(VI) in tannery waste water was found to be 0.00–0.16 ppm, metal plating was 1427.4 ppm, textile waste was 0.01–0.03 ppm, the Piyungan IPAL TPA was 0.00–0.15 ppm and batik wastes was 0.00–0.02 ppm. The calculation result of Fe(III) species in tannery waste water was 0.07–0.26 ppm, in waste metal plating was 18.17 ppm, in textile was 0.09–0.521 ppm, in Piyungan IPAL TPA wastes was 0.03–2.35 ppm and in batik waste was 0.01–0.50 ppm. As for Cr(III) species in tannery waste water, it was found to be 0.00–1.88 ppm, in metal plating was 277.66 ppm, in textile 0.01–0.03 ppm, in Piyungan IPAL TPA 0.02–0.11 ppm and in batik 0.01–0.02 ppm. The results showed that UV-Visible spectrophotometric method in combination with AAS can be used for metal speciation analysis of Fe and Cr in environmental samples.

**Keyword:** *Iron, Chromium, 1,10-fenantrolin, 1,5-difenilkarbazid and waste water industrial*

## PENDAHULUAN

Lingkungan sebagai tempat hidup manusia dan makhluk hidup lainnya harus dijaga agar tetap dapat dimanfaatkan sesuai dengan peruntukannya. Kegiatan manusia untuk memenuhi kebutuhan hidupnya seringkali dapat mengganggu keseimbangan lingkungan, salah satunya adalah kegiatan industri. Proses produksi suatu industri ternyata menyisakan masalah berhubungan dengan sisa proses produksinya yang berupa limbah. Limbah yang dikeluarkan suatu industri dapat berupa limbah padat, cair dan gas.

Limbah cair sesuai dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: Kep-51/MENLH/1995 adalah limbah dalam wujud cair yang dihasilkan oleh kegiatan industri yang dibuang ke lingkungan dan diduga dapat menurunkan kualitas lingkungan (Anonim, 1995). Menurut Mulia (2005) air limbah yang dibuang langsung ke air permukaan (misalnya sungai dan danau) dapat mengakibatkan pencemaran air permukaan tersebut. Daerah Aliran Sungai Code, Winongo dan Gadjahwong sebagian besar dimanfaatkan untuk berbagai kegiatan domestik, industri dan pertanian. Limbah dari kegiatan tersebut umumnya langsung dibuang ke dalam sungai sehingga sebagai sumber air, kualitasnya terus menurun, karena tercemar oleh limbah industri maupun limbah domestik (Siradz, dkk., 2008). Oleh karena itu limbah-limbah yang berpotensi sebagai pencemar perlu dilakukan pengolahan air limbah sebelum mengalirkannya ke lingkungan (Mulia, 2005). Hal ini sesuai dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: Kep-51/MENLH/1995 bahwa setiap penanggung jawab kegiatan industri harus melakukan pengelolaan limbah cair sehingga mutu limbah cair yang di buang ke lingkungan tidak melampaui baku mutu limbah cair yang telah ditetapkan. Menurut Junaidi dan Hatmanto (2006) pengelolaan limbah cair setelah proses produksi dimaksudkan untuk menghilangkan atau menurunkan kadar bahan pencemar yang terkandung di dalamnya sehingga limbah cair tersebut memenuhi syarat untuk dapat dibuang.

Industri yang melakukan pengelolaan limbahnya, misalnya pabrik tekstil yang berada di Surakarta seperti yang dilaporkan oleh Junaidi dan Hatmanto (2006) melalui data sekunder yang diperoleh menunjukkan bahwa pengelolaan limbah yang telah dilakukan ada yang

masih belum sesuai dengan baku mutu limbah cair untuk parameter BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), TSS (*Total Suspended Solid*) dan NH<sub>3</sub> (*Amonia*), sementara untuk parameter pH, krom total, fenol, minyak, lemak dan sulfida sudah memenuhi baku mutu limbah cair.

Industri yang sudah mengolah limbah cairnya bukan berarti sudah bebas membuang limbah cairnya ke lingkungan, tetapi harus diuji dahulu apakah limbah cair yang siap dibuang benar-benar terbebas dari logam berat. Limbah cair industri yang dibuang apabila masih mengandung logam berat dan masuk ke dalam lingkungan perairan maka akan terjadi peningkatan jumlah ion logam dalam air. Menurut Sibarani, dkk. (2006) logam berat dapat dikatakan sebagai faktor utama penyebaran pencemaran dalam air laut beserta makhluk yang hidup di air laut. Logam berat yang terdapat dalam limbah cair biasanya berasal dari industri yang melibatkan unsur-unsur logam dalam proses produksi dan juga peralatannya seperti industri tekstil, industri batik, pelapisan logam, penyamakan kulit ataupun pengelolaan sampah (TPA). Menurut Sudarmaji, dkk. (2006) logam-logam berat yang biasanya digunakan dalam industri antara lain: timbal (Pb), arsen (As), kadmium (Cd), mercury (Hg), krom (Cr), nikel (Ni), kalsium (Ca), magnesium (Mg), kobal (Co) dan besi (Fe). Logam berat jenis Hg, Pb, Cr(VI), Cd dan As termasuk dalam kategori bahan beracun dan berbahaya.

Menurut Darmono (1995) logam berat tidak dapat dihancurkan secara alami dan cenderung terakumulasi dalam rantai makanan melalui proses biomagnifikasi. Pencemaran logam berat menyebabkan kerusakan pada ekosistem, berbahaya terhadap kesehatan manusia, berbahaya bagi kehidupan organisma dan menimbulkan bau, warna dan rasa yang tidak enak dalam air.

Logam berat menurut Widowati, dkk. (2008) ada dua jenis yaitu logam berat esensial dan logam berat tidak esensial. Logam berat esensial seperti Zn, Fe, Cu, Mn dan Co sangat dibutuhkan oleh organisma tetapi dalam jumlah yang berlebih dapat menimbulkan keracunan. Sedangkan logam berat tidak esensial adalah logam yang bersifat toksik bagi tubuh bahkan dalam jumlah yang sedikit sekalipun contohnya Cr, Hg, Cd dan Pb.

Logam berat esensial seperti Fe diperlukan oleh tubuh untuk membentuk haemoglobin yang berfungsi sebagai pengikat oksigen (O<sub>2</sub>) dalam darah. Dalam jumlah yang berlebih Fe akan disimpan di hati, dalam dosis besar dapat merusak dinding usus dan menyebabkan hemokromatosis. Air minum yang mengandung besi cenderung menimbulkan rasa mual apabila dikonsumsi. Kadar Fe lebih dari 1 mg/L akan menyebabkan iritasi pada mata dan kulit. Kekurangan zat besi dapat mengakibatkan anemia, kelelahan, sakit kepala dan kehilangan konsentrasi (Darmono, 1995).

Kromium termasuk logam berat B3, tingkat daya racun kromium dipengaruhi oleh keadaan ion valensinya. Ion Cr(VI) sangat beracun, lebih beracun dari pada ion Cr(III) dan berdampak negatif pada kesehatan dan lingkungan, menyebabkan reaksi alergi dan asma, karsinogenik dan mutagenik. Masalah kesehatan lain yang disebabkan oleh kromium (VI) adalah kulit ruam, sakit perut dan bisul, masalah pernapasan, sistem kekebalan lemah dan ginjal. Menurut Palar (2008) secara sederhana logam berat menimbulkan kematian pada beberapa jenis biota perairan. Oleh karena itu keberadaan logam berat di lingkungan harus selalu di pantau.

Analisis terhadap logam-logam berat (seperti Hg, Cd, Cu, Cr, Pb, Ni, Zn dan As) pada wilayah perairan muara sungai dan pantai sekitar pantura Jawa Tengah dilaporkan oleh Yulianto (2006). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa sebagian besar logam-logam tersebut (kecuali Hg dan As dalam air dan kerang) telah melebihi ambang batas baku mutu. Kromium dalam air dan sedimen telah melebihi baku mutu berdasarkan Surat KepMen LH No 51 Th 2004.

Junaidi (2002) melaporkan penyebaran besi dalam penimbunan akhir sampah melalui air lindi dengan metode AAS. Kadar besi terlarut dalam air lindi masih rendah yaitu  $\leq 2,25$  ppm. Parulian (2009) melakukan pemantauan kadar besi yang terdapat pada air PDAM Tirtanadi Sunggal. PDAM sebagai pemasok air bersih dalam pengolahannya banyak menggunakan bahan-bahan kimia untuk menjaga kualitas air, salah satunya dengan tawas untuk mengendapkan lumpur. Sebelum dianalisis dengan AAS, sampel sebanyak 50 mL diasamkan dengan asam nitrat, dipanaskan hingga volume  $\pm 15-20$  mL disaring, kemudian filtrat di masukan dalam labu ukur 50 mL, dan analisis Fe dilakukan pada  $\lambda : 248,3$  nm. Hasil analisis menunjukkan kadar Fe masih di bawah ambang batas selama dalam pemantauan dalam waktu 4 bulan. Jika logam Fe dalam perairan jumlahnya melebihi ambang batas dapat mengganggu organisme yang ada di perairan maupun manusia baik langsung maupun tidak langsung.

Pujiastuti dan Atmaningsih (2007) memeriksa kandungan besi dalam air sumur, air PDAM, air instalasi migas secara spektrofotometri UV-tampak dengan pengompleks 1,10-fenantrolin. Pritasari dan Sugiarto (2010) menggunakan pereduksi natrium tiosulfat pada pH 4,5 dan pH 8 dengan pengompleks 1,10-fenantrolin. Dalam penelitian tersebut dipelajari gangguan Mn(II) dalam penentuan besi dimana pada konsentrasi Mn 0,06 ppm untuk pH 4,5 dan 0,08 pada pH 8 sudah mulai mengganggu analisis Fe. Pada pH asam dan basa penggunaan agen penopeng tartrat ( $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) untuk mengurangi gangguan Mn(II) lebih efektif dari pada EDTA.

Dari penelitian Sofarini, dkk. (2010) tentang kandungan logam berat pada badan air, biota dan sedimen di perairan Muara Das Barito, diketahui adanya logam berat Cr(VI) bersama dengan logam berat Hg, Pb, Cu, As, dan Cd. Pada penelitian tersebut analisis dilakukan dengan metode AAS. Keberadaan logam berat (Cu, Cr dan Zn) di sungai Cikijing telah ditentukan dengan metode AAS pada air permukaan dan sedimen di sekitar industri tekstil. Andarani dan Roosmini (2010) mempelajari pencemaran logam berat Cr, Cu dan Zn yang terjadi pada air sungai dan sedimen yang berada di sekitar industri tekstil menggunakan metode AAS.

Namira (2000) menganalisis Cr(VI) dalam air sungai dengan metode Spektrofotometri UV-tampak. Penentuan Cr(VI) dapat dilakukan secara cepat menggunakan metode difenilkarbazid. Optimasi panjang gelombang, waktu kestabilan dilakukan untuk diaplikasikan pada sampel air. Diperoleh konsentrasi Cr(VI) pada air sungai Gadjahwong sebesar 0,2 ppm yang diukur pada panjang gelombang 545 nm. Hastutiningrum (2006) menentukan konsentrasi spesies Cr(VI) dalam limbah cair penyamakan kulit. Untuk penentuan Cr total digunakan AAS dan untuk Cr(VI) menggunakan spektrofotometer UV-tampak dengan pengompleks 1,5-difenilkarbazid. Analisis terhadap limbah cair penyamakan kulit diperoleh konsentrasi Cr total = 1352,04 mg/L dan Cr (VI) = 0,13 mg/L.

Metode yang digunakan dalam penelitian di atas, belum melaporkan secara kombinasi pada spesies dua unsur besi dan kromium, masing-masing masih fokus pada satu unsur saja. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang analisis spesiasi logam berat krom dan besi dalam limbah cair industri menggunakan metode kombinasi Spektrofotometri UV-tampak dan Spektrofotometri Serapan Atom (AAS).

Penelitian ini diajukan dengan tujuan untuk mempelajari secara mendalam penentuan spesies besi dan krom dalam limbah cair industri dengan metode yang tepat dan mudah. Dari hasil penelitian diharapkan akan diketahui keberadaan logam berat dalam limbah cair yang dikeluarkan oleh industri apakah masih di bawah ambang batas atau sudah melampauinya. Untuk membedakan spesies yang ada dalam limbah cair tersebut, dapat diidentifikasi keberadaannya melalui proses kompleks berwarna. Ligan 1,5-difenilkarbazid dapat digunakan sebagai pengompleks Cr(VI) yang akan membentuk kompleks berwarna ungu merah Cr(VI)-DPC, sedangkan Fe(II) dapat direaksikan dengan ligan 1,10-fenantrolin sehingga terbentuk  $[\text{Fe}(\text{phen})_3]^{2+}$  yang berwarna merah-oranye. Konsentrasi Cr(VI) dan Fe(II) masing-masing

dapat ditentukan dengan mengukur absorbansi kedua larutan menggunakan spektrofotometer UV-tampak. Disisi lain besi total dan krom total dapat ditentukan konsentrasinya dalam limbah cair menggunakan AAS. Keberadaan Fe(III) dan Cr(III) selanjutnya ditentukan secara tidak langsung yaitu berdasarkan selisih Fe total dan Cr total dengan ion Fe(II) dan Cr(VI). Hasil analisis dapat dimanfaatkan untuk pertimbangan menentukan keputusan kualitas air limbah dari sungai di sekitar industri yang ada di Yogyakarta termasuk pengelolaan limbah TPA di Piyungan.

## METODE PENELITIAN

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah spektrofotometer UV-tampak 722, pH meter HI 8014 HANNA instruments, neraca analitik Mettler AE 100, spektrophotometer serapan atom (AAS) PE 3110 dan seperangkat alat-alat gelas laboratorium.

Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini buatan Merck dengan derajat pro-analisis adalah sebagai berikut: ferroammonium sulfat heksahidrat ( $(\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ ), kristal 1,10-fenantrolin monohidrat ( $\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), kristal kalium dikromat ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ), kristal natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ), asam sulfat 96% ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), hidroksilamin hidroklorida ( $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ ), kristal 1,5-difenilkarbazid ( $\text{C}_{13}\text{H}_{14}\text{N}_4\text{O}$ ), HCl 32%, aseton, etanol 96%, larutan buffer asetat pH 5,5, larutan buffer asetat pH 4, asam asetat glasial ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), natrium asetat ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ) dan aquabides buatan laboratorium Kimia Dasar UGM.

Sampel limbah cair berasal dari beberapa tempat pembuangan limbah industri di sekitar Yogyakarta, yaitu 1) Saluran pembuangan limbah cair PT Samiteks Sewon Bantul. 2) Sungai Gajah Wong sebagai tempat pembuangan limbah PT Budi Makmur Jaya Murni Yogyakarta. 3) Penampungan limbah industri Batik Tulis Sri Kuncoro Giriloyo Wukirsari Bantul. 4) Limbah cair IPAL TPA Piyungan Bantul. 5) Penampungan Limbah industri pelapisan logam di dusun Padokan Kidul Tirtonirmolo Kasihan Bantul.

Sampel penelitian diambil dari beberapa tempat pembuangan limbah industri. Setiap tempat diambil sebanyak tiga titik. Pengukuran pH dan temperatur air limbah dilakukan di setiap titik secara langsung. Sampel air limbah dimasukkan dalam botol polietilen, kemudian diasamkan dengan asam nitrat pekat sampai pH < 2, kemudian sampel disimpan dalam almari pendingin.

Penentuan Fe(II). Sampel disaring kemudian sebanyak 12,5 mL filtrat hasil penyaringan dipindahkan ke labu ukur 25 mL, ditambahkan buffer asetat pH 5,6 sebanyak 1,5 mL, 5 mL 1,10 fenantrolin 0,001 M sehingga terbentuk warna merah oranye. Kemudian diencerkan dengan aquabides sampai tanda batas. Larutan didiamkan selama 10 menit. Diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-tampak pada panjang gelombang maksimum ( $\lambda_{\text{maks}}$ ) 510 nm.

Penentuan Fe total. Penentuan besi total dilakukan dengan cara memanaskan 250 mL sampel air sampai volume tinggal  $\pm 25$  mL. Kemudian sampelnya didinginkan. Setelah dingin ditambahkan 3 mL  $\text{HNO}_3$  kemudian di pindahkan ke labu ukur 50 mL, selanjutnya ditambahkan aquabides sampai tanda batas. Sampel diukur absorbansinya dengan AAS pada panjang gelombang 248,3 nm.

Penentuan Fe(III). Penentuan Fe(III) ditentukan secara tidak langsung yaitu dengan menghitung selisih Fe total dengan Fe(II).

Penentuan Cr(VI). Sampel disaring kemudian sebanyak 12,5 mL filtrat hasil penyaringan dipindahkan ke labu ukur 25 mL, ditambahkan 1 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,5 M dan 0,6 mL reagen difenilkarbazid 0,5%. Kemudian ditambahkan aquabides sampai tanda batas. Larutan didiamkan selama 5 menit sebelum diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-tampak pada panjang gelombang maksimum ( $\lambda_{\text{maks}}$ ) 540 nm.

Penentuan Cr Total, Penentuan krom total dilakukan dengan cara memanaskan 250 mL sampel air sampai volume tinggal  $\pm 25$  mL. Kemudian sampelnya didinginkan. Setelah dingin larutan ditambahkan 3 mL HNO<sub>3</sub> kemudian dipindahkan ke labu ukur 50 mL, selanjutnya ditambahkan aquabides sampai tanda batas. Sampel diukur absorbansinya dengan AAS pada panjang gelombang ( $\lambda$ ) 357,9 nm.

Penentuan Cr(III), Penentuan Cr(III) ditentukan secara tidak langsung yaitu dengan menghitung selisih Cr total dengan Cr(VI).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Analisis Spesiasi Besi Dalam Limbah Cair industri

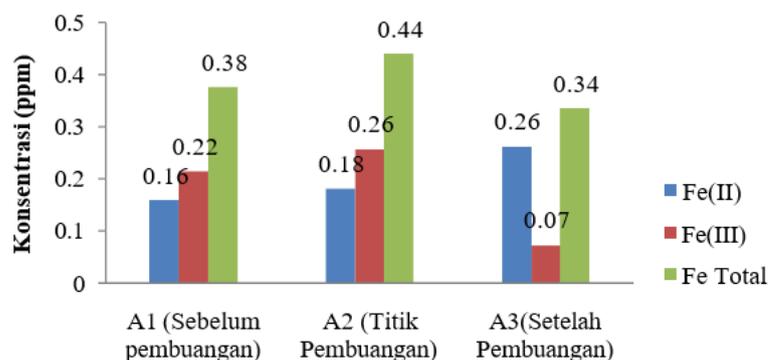
Salah satu parameter kimia yang dapat mempengaruhi kualitas air adalah tingkat pencemaran logam beratnya. Besarnya konsentrasi logam berat dalam air dapat mempengaruhi kehidupan organisme yang memanfaatkan air tersebut. Hal ini disebabkan karena toksisitas logam berat yang tinggi bagi organisme.

Berdasarkan hasil analisis spesies logam besi pada sampel limbah cair penyamakan kulit (A1-A3) diperoleh data yang disajikan dalam Gambar 1.

Gambar 1 menunjukkan bahwa konsentrasi spesies besi pada lokasi 1 (sebelum pembuangan) dan lokasi 2 (titik pembuangan), spesies Fe(III) lebih dominan daripada Fe(II), dengan konsentrasi spesies Fe(III) adalah 0,26 ppm, sedangkan pada lokasi 3 yaitu setelah pembuangan spesies Fe(II) dengan konsentrasi sebesar 0,26 ppm lebih dominan dari pada spesies Fe(III). Dalam perairan terdapat campuran Fe(II) dan Fe(III) tetapi spesies Fe(II) relatif tidak stabil, dengan oksigen akan segera teroksidasi membentuk Fe(III).



Pada air sungai yang mengalir dan terjadi aerasi Fe<sup>2+</sup> dapat teroksidasi menjadi ion Fe<sup>3+</sup>, pada pH 6-8 ion Fe<sup>3+</sup> cenderung sulit larut, bahkan dapat menjadi Fe(OH)<sub>3</sub> dan bisa mengendap.



### Lokasi sampel Industri Penyamakan Kulit

Gambar 1. Hasil spesiasi Fe pada sampel limbah cair penyamakan kulit

Pengukuran pH air sungai Gajahwong sebelum pembuangan air limbah adalah 7,94, pada titik pembuangan 8,17 dan setelah pembuangan air limbah sebesar 7,84. Temperatur sebelum pembuangan air limbah, pada titik pembuangan dan setelah titik pembuangan adalah 32 °C.

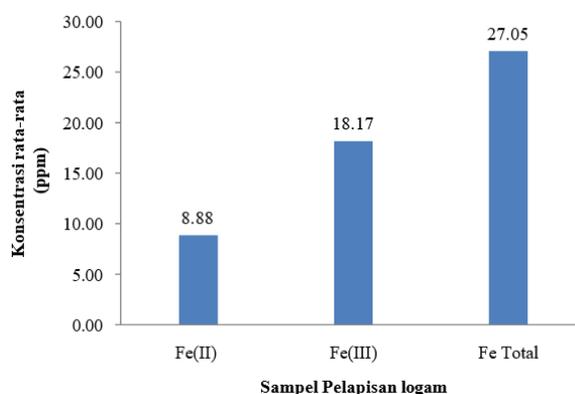
Penelitian yang dilakukan oleh Siradz, dkk. (2008) pengukuran pH air sungai Gajahwong adalah 5–6. Nilai pH yang naik turun dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain bahan organik atau limbah organik, bahan anorganik atau limbah anorganik, basa dan garam dalam air seperti NaOH, Ca(OH)<sub>2</sub> dan hujan asam. Tingginya nilai pH juga dapat

disebabkan oleh limbah buangan rumah tangga yang kebanyakan bersifat basa, terutama dari bahan buangan yang mengandung sabun atau detergen yang memiliki pH relatif lebih tinggi.

Sungai Gajahwong selain sebagai tempat pembuangan limbah cair pabrik penyamakan kulit juga dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar untuk membuang limbah rumah tangga sehingga secara tidak langsung dapat mempertinggi kadar besi dalam perairan.

Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No: KEP/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri penyamakan kulit, standar yang ditetapkan untuk limbah cair besi adalah 5 mg/L, sedangkan untuk parameter pH pada rentang 6–9. Sehingga berdasarkan Peraturan MENLH tahun 1995 untuk parameter pH dan konsentrasi spesies besi masih berada di bawah ambang batas yang diperbolehkan.

Banyak industri yang memanfaatkan besi dalam peralatan produksinya sehingga pada limbah yang dihasilkannya dapat mengandung besi, seperti industri pelapisan logam. Sampel berikutnya adalah dari limbah cair pelapisan logam. Untuk sampel limbah pelapisan logam diperoleh data analisis spesies besi seperti disajikan dalam Gambar 2.

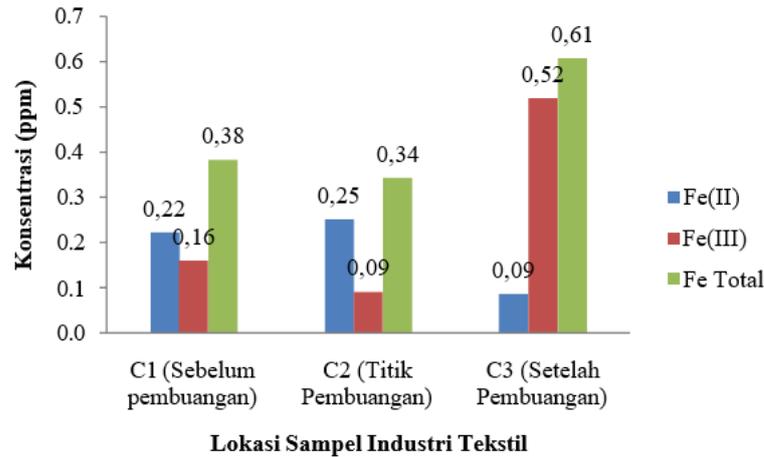


**Gambar 2. Hasil spesiasi Fe pada limbah pelapisan logam**

Berdasarkan Gambar 2 terlihat bahwa kandungan rata-rata Fe total pada limbah cair pelapisan logam cukup tinggi yaitu 27,05 ppm, spesies Fe(II) sejumlah 8,88 ppm dan Fe(III) sejumlah 18,17 ppm. Sampel limbah cair pelapisan logam diambil dari tempat penampungan limbah yang siap diregenerasi sehingga kadarnya masih cukup tinggi.

Hasil pengukuran pH air limbah pelapisan logam pada penelitian ini adalah 2,65, kondisi pH tidak sesuai dengan Peraturan MENLH tahun 1995 No: KEP/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri pelapisan logam untuk parameter pH adalah 6-9, demikian juga halnya untuk parameter besi sudah melampaui ambang batas. Agar dapat dibuang ke lingkungan limbah harus diolah terlebih dahulu untuk menghilangkan atau menurunkan konsentrasi besi dalam limbah, sehingga keberadaan besi aman bagi manusia dan makhluk hidup lainnya.

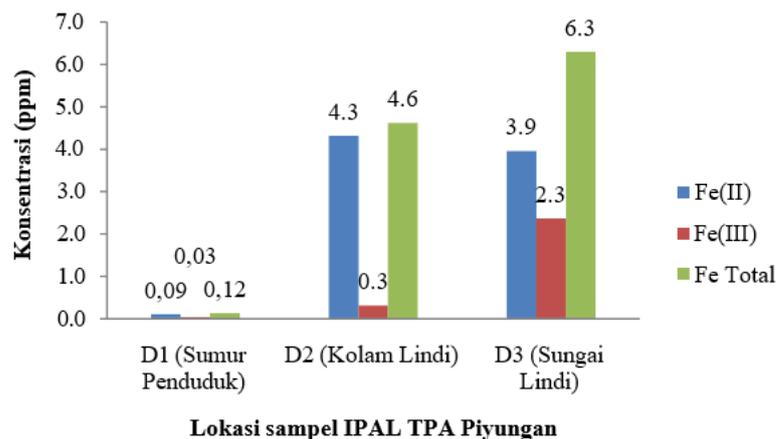
Hasil analisis spesiasi Fe pada sampel limbah cair industri tekstil disajikan dalam Gambar 3. Pada lokasi sampel 1 (sebelum pembuangan) terdapat besi total yang jumlahnya lebih besar dari lokasi sampel 2 (titik pembuangan) dan jumlah spesies Fe(II) lebih besar dari Fe(III). Sampel pada lokasi 3 (setelah pembuangan) yang berjarak  $\pm$  100 meter dari lokasi pembuangan limbah tekstil ternyata kandungan besinya lebih tinggi dari pada lokasi 1 (sebelum pembuangan) dan lokasi 2 (titik pembuangan). Pada lokasi sebelum titik pembuangan dan pada titik pembuangan spesies yang dominan adalah Fe(II) dan jumlah total kandungan besinya tidak jauh berbeda serta lebih kecil dari lokasi 3 (setelah titik pembuangan).



**Gambar 3. Hasil spesiasi besi dalam sampel limbah cair tekstil**

Peraturan MENLH Tahun 1995 No: KEP/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri tekstil untuk parameter pH adalah 6-9, parameter besi adalah 5 mg/L untuk golongan I dan 10 mg/L untuk golongan II. pH air limbah sebelum titik pembuangan adalah 7,4, pada titik pembuangan 7,34 dan setelah titik pembuangan 7,5. Dengan demikian konsentrasi spesies Fe dan pH belum melampaui baku mutu limbah cair.

Tingginya konsentrasi Fe pada lokasi sebelum titik pembuangan dimungkinkan karena kondisi saluran pembuangan limbah cair industri tekstil yang berupa saluran air yang dangkal dan berpasir, volume air yang tidak besar dan dekat dengan pemukiman penduduk. Dengan kondisi demikian diduga berpengaruh juga pada tingginya kadar Fe pada lokasi 3 (setelah titik pembuangan) yang dimungkinkan karena terjadi akumulasi Fe dan juga berasal dari sumber pencemar lain seperti kaleng yang terdapat di sepanjang saluran pembuangan limbah.



**Gambar 4. Hasil spesiasi besi pada sampel limbah cair IPAL TPA Piyungan**

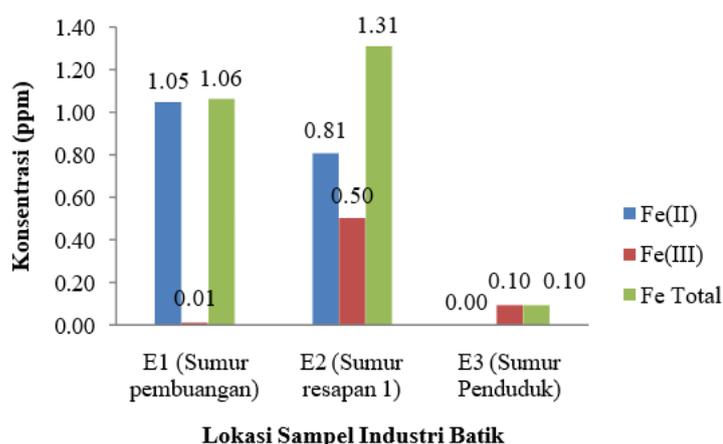
Limbah cair lain yang diprediksi sebagai sumber Fe adalah limbah cair pengelolaan sampah yang dihasilkan dari proses pelindian sampah. Hasil analisis sampel limbah cair IPAL TPA Piyungan disajikan dalam Gambar V.14. Pada lokasi sampel 1 yaitu sampel dari sumur penduduk menunjukkan konsentrasi Fe masih di bawah ambang batas, untuk parameter besi maupun pH. Konsentrasi spesies Fe(II) adalah 0,095 ppm dan Fe(III) sejumlah 0,025 ppm.

Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air untuk parameter besi adalah 0,3 mg/L dan pH sebesar 6-9. Pada lokasi sampel 2 (kolam lindi) dan lokasi sampel 3 (sungai lindi) jumlah total Fe meningkat secara tajam dimana pada kedua lokasi spesies Fe(II) lebih besar dari Fe(III). Hal ini menunjukkan adanya sumbangan logam Fe dari tempat penimbunan sampah. Senada dengan itu pada beberapa kasus yang ditemui konsentrasi polutan pada lindi dari limbah padat domestik pada beberapa TPA yang cukup menonjol adalah besi dengan konsentrasi mencapai 7,64 mg/L.

Pengukuran pH limbah cair lindi yang diambil dari kolam lindi adalah 8,28 dan pada sungai lindi sebesar 8,05. Konsentrasi Fe(II) pada kolam lindi 4,30 ppm, sedangkan pada sungai lindi konsentrasi Fe(II) 3,93 ppm. Untuk parameter pH pada sumur penduduk, sungai lindi dan kolam lindi belum melampaui baku mutu limbah cair. Konsentrasi besi pada sumur penduduk berdasarkan PP No: 82 Tahun 2001 tentang pengendalian kualitas air dan pengendalian pencemaran air, parameter besi adalah 0,3 mg/L masih berada dalam rentang yang diperbolehkan. Konsentrasi besi menurut Peraturan MENLH Tahun 1995 No: KEP/MENLH/10/1995 pada kolam lindi sudah mendekati ambang batas, sedangkan pada sungai lindi sudah melampaui ambang batas.

Sampel limbah cair industri batik diprediksi mengandung logam berat Fe dan krom karena itu dalam penelitian ini dijadikan sebagai salah satu sampel. Hasil analisis limbah cair industri batik disajikan dalam Gambar 5.

Dari Gambar 5 terlihat bahwa spesies Fe(II) pada lokasi 1 (sumur pembuangan) didominasi oleh Fe(II) yang mengalami oksidasi sebagian menjadi Fe(III) seperti terlihat pada lokasi 2 (sumur resapan 1). Kecilnya kandungan besi pada lokasi 3 dimungkinkan tidak adanya resapan Fe yang berasal dari sumur penampungan limbah cair batik tetapi kemungkinan hanya berasal dari sumber lain seperti benda- benda yang ada di sekitar sumur atau dari alat pengambil air yang tuasnya terbuat dari bahan besi. Lokasi sampel 3 adalah sumur penduduk yang berjarak  $\pm 50$  m dari lokasi 1 (sumur pembuangan) dan 2 (sumur resapan 1) limbah cair.



Gambar 5. Hasil spesiasi besi dalam sampel limbah cair batik

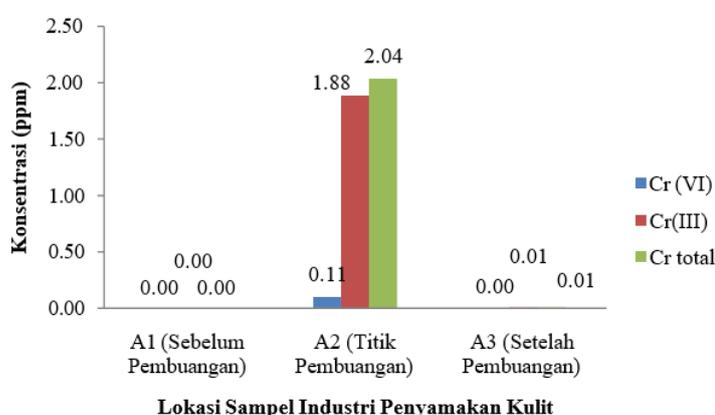
Peraturan MENLH Tahun 1995 No: KEP/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair untuk parameter pH adalah 6-9 dan parameter besi sebesar 5 mg/L. Hasil spesiasi besi dan pengukuran pH air limbah menunjukkan bahwa kondisi keasaman limbah cair batik dan konsentrasi besi yang terdapat pada sumur pembuangan dan resapan masih memenuhi baku mutu limbah cair. pH pada sumur pembuangan adalah 8,54 dan sumur resapan sebesar 7,63. Pada lokasi 3 (sumur penduduk), pH air dan konsentrasi besi masih memenuhi kriteria kualitas

air sesuai dengan PP Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air.

### Hasil Analisis Spesiasi Krom Dalam Limbah Cair Industri

Limbah cair penyamakan kulit pada lokasi 1 (sebelum titik pembuangan) tidak terdeteksi adanya logam krom, begitu pula pada lokasi 3 (setelah titik pembuangan) menunjukkan kandungan krom sangat rendah yang berada dalam bentuk spesies Cr(III), sementara Cr(VI) tidak terdeteksi. Namun demikian, pada lokasi 2 (titik pembuangan) menunjukkan kandungan logam krom cukup tinggi baik sebagai Cr(VI) maupun Cr(III). Hal ini menunjukkan adanya pemasukan krom yang besar pada lokasi 2 (titik pembuangan) yang kemudian mengalami pengenceran setelah sampai di lokasi 3 (setelah pembuangan).

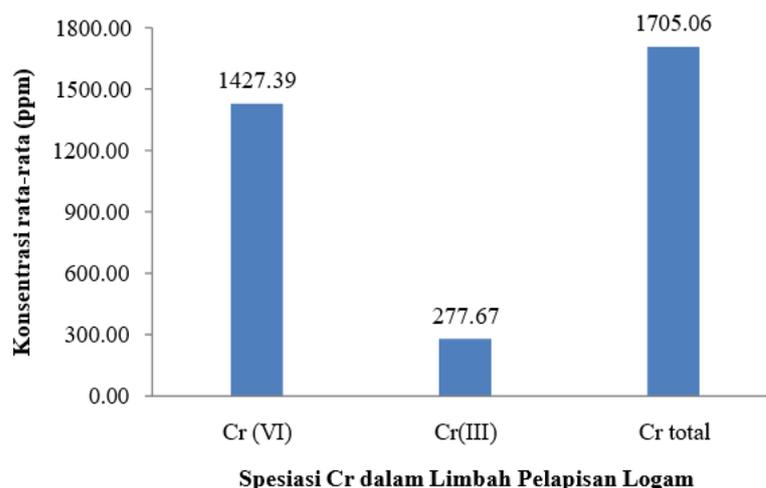
Spesies yang dominan pada limbah cair penyamakan kulit adalah Cr(III), kemudian mengalami pengenceran seperti terlihat dari penurunan konsentrasi Cr(III) dan Cr(VI) pada lokasi 3 (setelah pembuangan). Hasil analisis spesies krom pada titik pembuangan untuk spesies Cr(VI) dan Cr total sudah melampaui baku mutu limbah cair berdasarkan Peraturan MENLH No 51 Tahun 1995 tentang baku mutu limbah cair industri dimana parameter Cr(VI) sejumlah 0,1 mg/L dan Cr total 0,5 mg/L. Sementara untuk parameter pH, masih memenuhi baku mutu limbah cair.



**Gambar 6. Hasil spesiasi krom dalam limbah cair penyamakan kulit.**

Sampel limbah cair pelapisan logam diambil dari tempat penampungan limbah yang siap di regenerasi. Limbah berwarna kuning yang di tampung dalam drum plastik besar. Pengukuran pH sampel limbah pelapisan logam adalah 2,65, dimana pada rentang pH 2-6 ion Cr(VI) akan berbentuk ion dikromat ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) dan ion ( $\text{HCrO}_4^-$ ). Hasil analisis krom pada limbah cair pelapisan logam disajikan dalam Gambar 7.

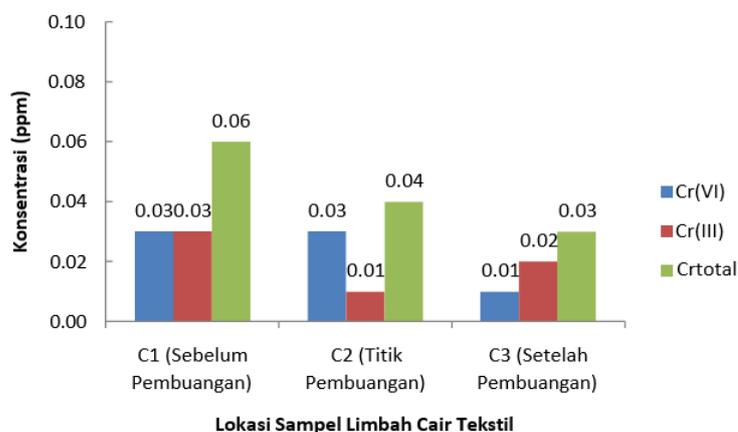
Dari Gambar 7 terlihat bahwa spesies Cr(VI) lebih dominan daripada ion Cr(III), dimungkinkan ion Cr(VI) mengalami oksidasi selama proses penyimpanan. Konsentrasi rata-rata spesies Cr(VI) sejumlah 1427,39 ppm, jumlah ini jauh melampaui baku mutu limbah cair pelapisan logam berdasarkan Peraturan MENLH No 51 Tahun 1995 tentang baku mutu limbah cair industri. Tingginya konsentrasi spesies Cr(VI) memberikan informasi bahwa limbah cair dari industri pelapisan logam sangat berbahaya kalau langsung dibuang ke lingkungan perairan karena dapat meracuni manusia dan makhluk hidup lainnya baik secara langsung maupun tidak langsung.



**Gambar 7 Hasil spesiasi krom dalam limbah cair pelapisan logam**

Industri tekstil adalah salah satu industri yang menggunakan krom dalam proses produksinya. Dalam limbah cair tekstil yang dianalisis, diperoleh hasil seperti yang di sajikan dalam Gambar 8

Dari Gambar 8 terlihat bahwa spesies yang ada di tempat pembuangan limbah bervariasi. Pada lokasi 1 yaitu sebelum pembuangan diperoleh spesies Cr(III) lebih besar daripada Cr(VI), sedangkan pada titik pembuangan limbah cair (lokasi 2) Cr(VI) lebih besar dari pada Cr(III). Pada lokasi 3 (setelah titik pembuangan) secara umum kadar krom mengalami penurunan, spesies Cr(III) lebih besar daripada Cr(VI). Tingginya kadar krom pada lokasi 1 dimungkinkan adanya akumulasi dalam saluran pembuangan limbah pabrik dan juga dari sumber lain yang berada di lokasi pembuangan.



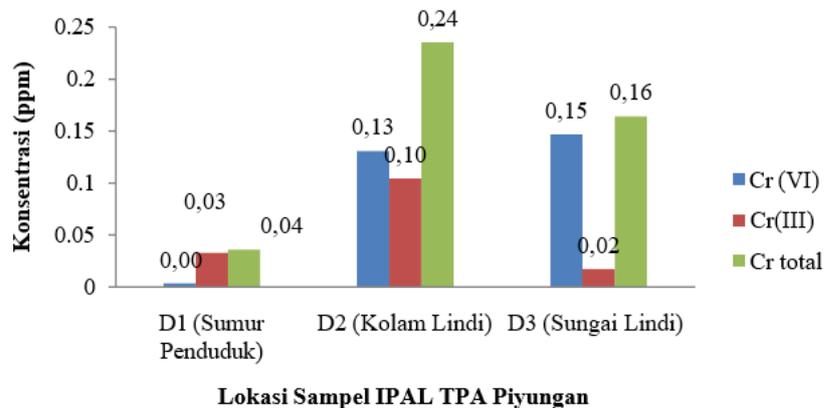
**Gambar 8 Hasil spesiasi krom dalam limbah cair tekstil**

Peraturan MENLH No 51 Tahun 1995 tentang baku mutu limbah cair industri tekstil, parameter krom total adalah 0,5 mg/L dan Cr(VI) sebesar 0,1 mg/L, sementara untuk parameter pH pada rentang 6-9. Pengukuran pH air limbah pada sampel limbah cair industri tekstil berada pada rentang 7,4–7,5. Berdasarkan hasil analisis krom dan pH limbah cair industri tekstil masih memenuhi baku mutu limbah cair.

Hasil analisis limbah cair IPAL TPA Piyungan disajikan dalam Gambar V.19. Berdasarkan Gambar V.19 menunjukkan bahwa pada lokasi 2 (kolam lindi) dan 3 (sungai lindi) spesies yang dominan adalah Cr(VI) dengan konsentrasi yang hampir sama. Konsentrasi spesies Cr(III) pada lokasi sampel 2 (kolam lindi) lebih besar dari pada kadar Cr(III) pada lokasi sampel 3 (sungai lindi). Pada lokasi 1 (Sumur penduduk) yang berada pada jarak ±100 m dari sungai lindi, menunjukkan adanya spesies Cr(III) lebih besar dari pada Cr(VI) dengan kadar

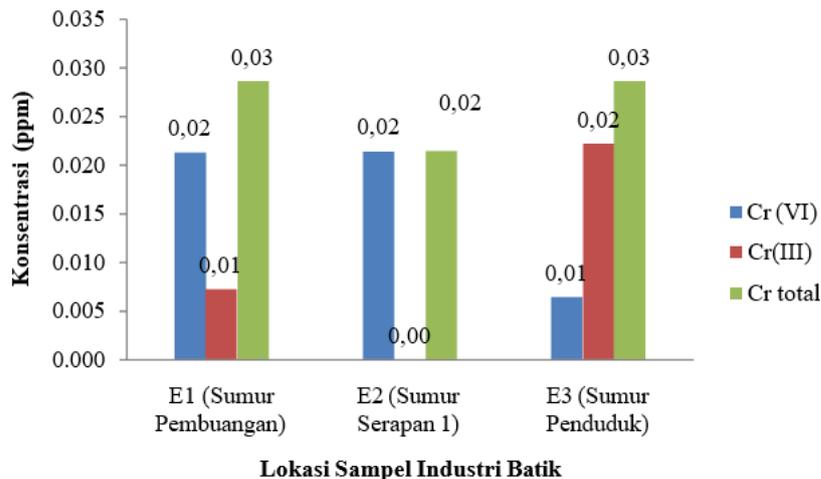
yang tidak terlalu besar, hal ini menunjukkan bahwa IPAL TPA menyumbang pencemaran krom meskipun besarnya tidak signifikan.

Merujuk pada Peraturan MENLH No 51 Tahun 1995 tentang baku mutu limbah cair industri, hasil analisis krom dalam limbah cair IPAL TPA Piyungan untuk spesies Cr(VI) pada kolam lindi dan sungai lindi sudah melebihi baku mutu limbah cair, sedangkan untuk Cr total masih dibawah baku mutu limbah cair. Untuk parameter pH, masih berada pada rentang pH yang diperbolehkan yaitu 8,0.



**Gambar 9. Hasil spesiasi krom dalam limbah cair IPAL TPA Piyungan**

Pada lokasi 1 (sumur penduduk) konsentrasi krom dan pH masih memenuhi kriteria kualitas air sesuai dengan PP Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air. Sampel limbah cair industri batik diambil dari tempat penampungan yang berupa sumur-sumur sebagai tempat pengolahan limbah sisa produksinya. Hasil analisis limbah cair industri batik disajikan dalam Gambar 20



**Gambar 20. Hasil spesiasi krom dalam limbah cair industri batik**

Gambar 20 menunjukkan bahwa spesies yang dominan pada lokasi 1 (sumur pembuangan) dan 2 (sumur resapan 1) adalah Cr(VI) dengan konsentrasi yang setara. Untuk lokasi sampel 3 (sumur penduduk) terdeteksi adanya spesies Cr(VI) dengan konsentrasi kecil. Pada lokasi sampel 1 (sumur pembuangan) spesies Cr(III) lebih kecil dibandingkan dengan lokasi sampel 3 (sumur penduduk), sedangkan pada lokasi 2 (sumur resapan 1) konsentrasi Cr(III) dibawah limit deteksi alat.

Pada lokasi 3 (sumur penduduk) terdeteksi adanya Cr dengan konsentrasi setara pada sumur pembuangan dan sumur resapan, hal ini menunjukkan bahwa limbah cair industri batik menyumbang pencemaran Cr meskipun besarnya tidak signifikan. Pada lokasi 3 (sumur penduduk) pH air dan konsentrasi masih memenuhi kriteria kualitas air sesuai dengan PP Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air.

Spesies Cr(VI) dan Cr(III) pada lokasi 1 (sumur pembuangan) dan lokasi 2 (sumur resapan) masih di bawah baku mutu limbah cair untuk parameter pH dan Cr, sesuai dengan Peraturan MENLH No 51 Tahun 1995 tentang baku mutu limbah cair industri. Limbah dari suatu industri ada kalanya tidak tetap volumenya. Untuk beberapa pabrik tertentu limbah cairnya mengalir dalam jumlah yang sama setiap hari, tetapi ada yang mengalirkan limbah pada jam-jam (waktu) tertentu bahkan pada satu minggu atau satu bulan. Bercampurnya limbah cair pada jumlah yang berbeda-beda mengakibatkan konsentrasi bahan pencemar pada badan penerima bervariasi. Kondisi ini menunjukkan bahwa standar kualitas lingkungan juga mengalami perubahan sesuai dengan limbah yang diterima.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Keberadaan Fe(II) dalam sampel limbah cair industri dapat ditentukan menggunakan pengompleks 1,10-fenantrolin secara spektrofotometri UV-tampak, dengan kondisi optimum penentuan Fe(II) adalah panjang gelombang maksimum 510 nm, waktu kestabilan sampai 450 menit, rasio mol Fe(II):ligan = 1:7 dan pH larutan  $\approx$  6. Dalam penelitian ini diperoleh konsentrasi Fe(II) dalam limbah cair industri penyamakan kulit sebesar 0,16–0,26 ppm, limbah pelapisan logam 8,88 ppm, limbah tekstil 0,09–0,25 ppm, limbah IPAL TPA Piyungan 0,09–4,26 ppm, limbah batik 0,00–1,05 ppm.
2. Keberadaan Cr(VI) dalam sampel limbah cair industri dapat ditentukan menggunakan pengompleks 1,5-difenilkarbazid secara spektrofotometri UV-tampak, dengan kondisi optimum penentuan Cr(VI) adalah panjang gelombang maksimum 540 nm, waktu stabil kompleks dimulai menit ke-5 sampai menit ke-60, rasio mol Cr(VI):ligan = 1:43 dan pH larutan  $\approx$  2,0. Dalam penelitian ini diperoleh konsentrasi Cr(VI) dalam limbah cair industri penyamakan kulit 0,00–0,16 ppm, limbah pelapisan logam 1427,40 ppm, limbah tekstil 0,01–0,03 ppm, limbah IPAL TPA Piyungan 0,00–0,15 ppm, limbah batik 0,00–0,02 ppm.
3. Keberadaan besi total dalam sampel limbah cair industri dapat ditentukan dengan mengukur absorbansi larutan menggunakan spektrofotometer serapan atom. Dalam penelitian ini diperoleh konsentrasi besi total dalam limbah cair industri penyamakan kulit 0,34–0,44 ppm, limbah pelapisan logam 27,05 ppm, limbah tekstil 0,34–0,61 ppm, limbah IPAL TPA Piyungan 0,12–6,28 ppm, limbah batik 0,10–1,31 ppm.
4. Keberadaan krom total dalam sampel limbah cair industri dapat ditentukan dengan mengukur absorbansi larutan menggunakan spektrofotometer serapan atom. Dalam penelitian ini diperoleh konsentrasi krom total dalam limbah cair industri penyamakan kulit 0,00–2,04 ppm, limbah pelapisan logam 1705,15 ppm, limbah tekstil 0,03–0,06 ppm, limbah IPAL TPA Piyungan 0,04–0,24 ppm, limbah batik 0,02–0,03 ppm.
5. Keberadaan Fe(III), Cr(III) dalam limbah cair dapat ditentukan dari selisih antara besi dan Cr total dengan Fe(II) dan Cr(VI). Dalam penelitian ini diperoleh hasil Fe(III) dalam limbah cair industri penyamakan kulit 0,07–0,26 ppm, limbah pelapisan logam 18,17 ppm, limbah tekstil 0,09–0,52 ppm, limbah IPAL TPA Piyungan 0,03–2,35 ppm, limbah batik 0,01–0,50 ppm. Sedangkan Cr(III) diperoleh kadar dalam limbah cair industri penyamakan kulit 0,00–1,88 ppm, limbah pelapisan logam 277,66 ppm, limbah tekstil 0,01–0,03 ppm, limbah IPAL TPA Piyungan 0,02–0,11 ppm, limbah batik 0,01–0,02 ppm.

## DAFTAR PUSTAKA

Alerts, G. dan Santika, S.S., 1984, *Metode Penelitian Air*, Penerbit Usaha Nasional Surabaya Indonesia

- Alfian, Z., 2007, Pengaruh pH Dan Penambahan Asam Terhadap Penentuan Kadar Unsur Krom Dengan Menggunakan Metode Spektrofotometri Serapan Atom (AAS), *J. Sains Kimia*, 11(1)37-41
- Nomor: KEP-51/MENLH/10/1995 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri, [Http://www.bplhdjabar.go.id/index.php/dokumen-publikasi/doc-download/108kepmenlh-no-51-tahun1995](http://www.bplhdjabar.go.id/index.php/dokumen-publikasi/doc-download/108kepmenlh-no-51-tahun1995) diunduh tanggal 13 April 2011
- Andarani, P. dan Roosmini, D. (2010), Profil pencemaran Logam Berat (Cu, Cr, dan Zn) Pada Air Permukaan Dan Sedimen Di Sekitar Industri Tekstil Pt X (Sungai Cikijing), [Http://www.ftsl.itb.ac.id/kk/teknologi\\_pengelolaan/wp-content/uploads/2010/10/p1-pertiwi\\_andarani-15305045.pdf](http://www.ftsl.itb.ac.id/kk/teknologi_pengelolaan/wp-content/uploads/2010/10/p1-pertiwi_andarani-15305045.pdf), diunduh tanggal 17 Maret 2011
- Astuti, M.Y., 2006, Ekstraksi dan Spesiasi Senyawa Kromium(VI) dan Kromium(III) Sebagai Kompleks Asosiasi Ion Tetrabutylammonium- kromat, *Skripsi*, FMIPA Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
- Boybul dan Haryati, 2009, Analisis Unsur Pengotor Fe, Cr dan Ni Dalam Larutan Uranil Nitrat Menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom, *Seminar nasional V SDM Teknologi Nuklir*, Yogyakarta, 5 November 2009, ISSN 1978-0176
- Cotton, F. A. dan Wilkinson, G., 2007, *Kimia Anorganik Dasar*, Terjemahan Sahati Suharto, Penerbit UI Press, Jakarta
- Darmono, (1995), *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta
- Day, Jr., R.A., dan Underwood, A.L., 1992, *Analisa Kimia Kuantitatif*, Edisi Kelima, terjemahan A.H. Pudjaatmaka, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Dewi, D.C., 2002, Metode Ekstraksi-Spektrofotometri Untuk Penentuan Besi Dalam Konsentrasi Rendah Sebagai Kompleks Asosiasi Ion Tris(5-Fenil- 1,10-Fenantrolin)-Besi(II)-Pikrat, *Tesis*, Ilmu Kimia FMIPA Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
- Effendi, H., (2003), *Telaah Kualitas Air: Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*, Penerbit Kanisius, Yogyakarta
- Gandjar, I.G. dan Abdul Rohman, 2009, *Kimia Farmasi Analisis*, Pustaka Pelajar, Yogyakarta
- Harvey, D., 2000, *Modern Analytical Chemistry*, McGraw-Hill Companies, Singapura
- Hastuti, B., 2004, Studi Analisis Besi Konsentrasi Rendah Sebagai Kompleks Tris (3,4,7,8-Tetrametil-1,10-Fenantrolin) Besi(II) Pikrat dengan Metode Ekstraksi-Spektrofotometri, *Tesis*, FMIPA Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
- Hastutiningrum, S., 2006, Studi Recovery Crom(III) dari Limbah Cair Penyamakan Kulit dengan Metode Pengendapan, *Tesis*, FMIPA Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
- Januarita, R. dan Herdiansyah, 2003, Adsorption of Cr(VI) On Black Water, *Indo. J. Chem*, 3(3), 169-175
- Junaidi dan Hatmanto, B.P.D., 2006, Analisis Teknologi Pengolahan limbah Cair pada Industri Tekstil (Studi Kasus PT. Iskandar Indah Printing Textile surakarta, *J. Presipitasi* 1, 1, ISSN 1907-187X
- Junaidi, E., (2002, Studi Penyebaran Senyawa Besi, Amonia dan Nitrat Dari Tempat Penimbunan Akhir Sampah Melalui Air Lindi (Di Tempat Penimbunan Akhir Piyungan Bantul), *Skripsi*, Jurusan Kimia FMIPA Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
- Koesnarpadi, S., 2001, Transformasi Kromium(VI) Menjadi Kromium(III) Oleh Bakteri Pseudomonas Putida, *Tesis*, FMIPA Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
- Manku, G.S., 1984, *Inorganic Chemistry*, Tata MicGraw-Hill Publishihing Company Limited New Delhi
- Marchart, H., 1964, Uber Die Rieaction Von Chrom Mit Diphenilkarbazid and Diphenilkarbazon. *J. Anal. Chim. Acta*, 30, 11-16
- Mulia, R.M., 2005, *Kesehatan Lingkungan*, Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta

- Namira, D., 2000, Penentuan Cr(VI) dalam Air Menggunakan Metode Spektrofotometri UV-Tampak, *Skripsi*, FMIPA Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
- Palar, H., 2008, *Pencemaran dan Efek Toksikologi Logam Berat*, Penerbit Rineka Cipta, Jakarta
- Parulian, A. 2009, Monitoring dan analisis kadar aluminium (Al) dan Besi (Fe) pada pengolahan air minum PDAM Tirtanadi Sunggal, *Tesis*, FMIPA, Universitas Sumatera Utara Medan
- Pritasari, A.R. dan Sugiarto, R.D. , 2010, Studi gangguan Mn pada analisa besi menggunakan pengompleks 1,10-fenantrolin pada pH 4,5 dan pH 8,0 secara Spektrofotometri UV-Vis, *Prosiding Tugas Akhir Semester Ganjil 2009/2010*, Jurusan Kimia FPMIPA Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya
- Pujiastuti, P. Dan Atmaningsih, R. (2007) Pemeriksaan kadar besi (Fe) dalam air sumur PDAM dan air instalasi migas di desa Kampung Baru Cepu secara Spektrofotometri, *J. Kimia dan Teknologi*, ISSN 0216-163x, 205-212